



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE  
VIBRACIONES PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS  
EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE GALVANIZADO EN UNA  
EMPRESA METALMECÁNICA, LIMA 2017.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR:**

**PASACHE MORALES, JOSÉ GABRIEL**

**ASESOR:**

**Mg. LINO ROLANDO RODRIGUEZ ALEGRE**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

**GESTIÓN EMPRESARIAL Y PRODUCTIVA**

**LIMA – PERÚ**

**2017**

## **Página de Jurado**

---

**Presidente**

**Dr.**

---

---

---

**Secretario**

**Dr.**

---

---

---

**Vocal**

**Dr.**

---

---

## **DEDICATORIA**

A Dios por su infinita bondad y amor.

A mi esposa Mary por el amor que nos profesamos.

A mis hijos María Gabriela y Gabriel Alonso por ser mi principal motivación y continuar trabajando fuertemente para cumplir mis metas y alcanzar los objetivos propuestos.

A mis padres por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos Miguel y Cecilia por estar siempre a mi lado.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia y amistades por su apoyo incondicional en todo momento en esta etapa de mi vida en la Universidad.

Adicionalmente agradecer sinceramente a mi asesor Mg Lino Rolando Rodríguez Alegre por sus correcciones y sus precisas sugerencias para poder culminar el trabajo de investigación.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo: José Gabriel Pasache Morales con DNI N.º 02841113, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Industrial, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño la presente son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, octubre, 2017

---

José Gabriel Pasache Morales

## **PRESENTACIÓN**

En cumplimiento de Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, presento ante ustedes la Tesis titulada “PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial.

## INDICE

Página de jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Declaración de autenticidad	v
Presentación	vi
Indice	vii
Indice de tablas	ix
Indice de figuras	x
Resumen	xi
Abstract	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Realidad Problemática	14
1.1.1. Diagrama de Ishikawa	17
1.1.2 Diagrama de Pareto.	21
1.2. Trabajos previos	26
1.3 Teorías relacionadas al tema	34
1.3.1 Mantenimiento Predictivo.	34
1.3.2 Plan de Mantenimiento.	35
1.3.3 Beneficios del Mantenimiento Predictivo	36
1.3.4 Importancia del Mantenimiento Predictivo.	37
1.3.5 Implementación del Mantenimiento Predictivo.	37
1.3.7 Variable Dependiente	42
1.4 Formulación del problema	44
1.4.1 Problema General	44
1.4.2 Problemas Específicos	44
1.5 Justificación del estudio	44
1.1 Justificación Teórica	44
1.5.2 Justificación Práctica	45
1.5.3 Justificación Metodológica.	45
1.6 Hipótesis	46
1.6.1 Hipótesis General	46
1.6.2 Hipótesis específicas.	46
1.7 Objetivos.	47
1.7.1 Objetivo General	47
1.7.2 Objetivo Específicos	47
II. MÉTODO	48
2.1 Diseño de investigación.	49
2.2 Variables	50
2.2.1 Variable independiente:	50
2.2.2 Variable Dependiente	51
2.2.3 Operacionalización de Variable Independiente	53
2.2.4 Operacionalización de Variable Dependiente.	54

2.3 Población	55
2.3.1 Muestra	55
2.3.2 Criterios de Selección	55
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.	56
2.4.1 Instrumentos de recolección de datos	56
2.4.2 Instrumento:	56
2.4.3 Validez y Confiabilidad	57
2.4.3.1 Validez	57
2.5. Métodos de análisis de datos	58
2.5.1 Análisis descriptivo	58
2.5.2 Análisis Inferencial	58
2.6. Aspectos éticos	58
2.7. Desarrollo de la propuesta	59
2.7.1 Situación actual	59
2.7.1.1 Situación Problemática	62
2.7.2. Propuesta de Mejora	64
2.7.3. Implementación de la Propuesta	70
2.7.3.1. Catastro de equipos.	70
2.7.3.2. Establecer los equipos críticos.	71
2.7.3.3 Adquisición de Instrumentos de medición,	72
2.7.3.4 Capacitación.	73
2.7.3.5. Monitoreo.	76
2.7.3.6. Detección de averías	78
2.7.4. Resultados después de la mejora (post test)	81
2.7.5 Análisis Costo Beneficio	84
III. RESULTADOS	89
3.1. Análisis descriptivo	90
3.1.1 Variable Dependiente: Confiabilidad	90
3.1.2. Dimensión 1: Disponibilidad	91
3.1.3. Dimensión 2: Tiempo Medio entre Fallas	92
3.2. Análisis inferencial	95
3.2.1. Análisis de la hipótesis general	95
3.2.2. Análisis de la hipótesis específica 1	98
3.2.3. Análisis de la hipótesis específica 2	101
3.2.4. Análisis de la hipótesis específica 3	102
3.2.4. Análisis de la hipótesis específica 4	104
IV. DISCUSIÓN	108
V. CONCLUSIÓN	111
VI. RECOMENDACIONES	113
VII. REFERENCIAS	115
ANEXOS	120



## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	57
Tabla N° 2. Presupuesto de Implementación	67
Tabla N° 3: Diagrama de Gantt	68
Tabla N° 4. Total de Equipos para evaluación de criticidad:(15)	70
Tabla N° 5. Total de Equipos Críticos:(10)	71
Tabla N° 6 . Severidad de los rodamientos	77
Tabla N° 7 Registro de monitoreo de equipo.	78
Tabla N° 8. Disponibilidad pre y post test.	81
Tabla N° 9. Confiabilidad mensual pre y post test.	82
Tabla N° 10 Tabla Costos de mantto Preventivo vs Predictivo	84
Tabla N° 11. Programación de Horas PCP	86
Tabla N° 12. Pérdidas por fallas pre test	86
Tabla N° 13 Pérdida por fallas pos test	86
Tabla N° 14 La media de la Confiabilidad antes y después	91
Tabla N° 15 La media de la Disponibilidad antes y después	92
Tabla N° 16 Valores de la media del MTBF	93
Tabla N° 17 Valores de la media del MTTR	94
Tabla N° 18. Pruebas de normalidad	95
Tabla N° 19 Análisis de muestras relacionadas de la Confiabilidad antes y después Wilcoxon	96
Tabla N° 20 Prueba de muestras emparejadas	97
Tabla N° 21 Análisis de $P_{valor}$ de la Confiabilidad antes y después. Wilcoxon	97
Tabla N° 22 Pruebas de normalidad	98
Tabla N° 23 Análisis de muestras relacionadas de la Disponibilidad antes y después Wilcoxon	99
Tabla N° 24 Valor de la significancia de la Disponibilidad antes y después- Wilcoxon	100
Tabla N° 25 Análisis de $P_{valor}$ de la confiabilidad antes y después. Wilcoxon	100
Tabla N° 26 Pruebas de normalidad	101
Tabla N° 27 Análisis de muestras relacionadas del tiempo medio entre fallas antes y después Wilcoxon	102
Tabla N° 28 Valor de la significancia del Tiempo medio entre fallas antes y después-Wilcoxon	103
Tabla N° 29 Análisis de $P_{valor}$ del tiempo promedio entre fallas antes y después. Wilcoxon	103
Tabla N° 30 Pruebas de normalidad	104
Tabla N° 31 Análisis de muestras relacionadas del tiempo medio de reparación antes y después Wilcoxon	105
Tabla N° 32 Valor de la significancia del tiempo medio de reparación antes y después-Wilcoxon.	106
Tabla N° 33 Análisis de $P_{valor}$ del tiempo medio de reparación antes y después. Wilcoxon	107

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Costos de mantenimiento	15
Figura N° 2 Diagrama de Causa – Efecto Fuente: Elaboración propia	20
Figura N° 3. Diagrama de Pareto:	23
Figura N° 4: Curva PF - Identificación Temprana de una falla	25
Figura N° 5 Organigrama de la Empresa	59
Figura N° 6. Diagrama de Flujo de operaciones de la empresa.	61
Figura N° 7. Diagrama de proceso de galvanizado.	62
Figura N° 8 Instrumento para medir vibraciones	72
Figura N° 9. Termómetro infrarrojo	73
Figura N° 10. Puntos de medición en soporte de rodamientos.	75
Figura N° 11. Puntos de medición de equipo transmisión por fajas.	75
Figura N° 12. Puntos de medición de equipo transmisión directa	76
Figura N° 13 . Exceso de Lubricante	79
Figura N° 14. Cuerpo extraño en impulsor de ventilador	80
Figura N° 15. Grafico disponibilidad mensual pre y pos test.	81
Figura N° 16 Grafico disponibilidad promedio pre y pos test	82
Figura N° 17. Gráfico de Confiabilidad mensual pre y pos test.	83
Figura N° 18 Grafico Confiabilidad mensual pre y pos test.	83
Figura N° 19. Gráfico de Costos preventivo y predictivo	85
Figura N° 20 Gráfico Costos mantto preventivo y predictivo	85
Figura N° 21. Gráfico de Pérdida por fallas pre y pos test	87
Figura N° 22 Resultado Costo beneficio de la Implementación	88
Figura N° 23 Diferencia de la Confiabilidad antes y después de la mejora.	90
Figura N° 24 Gráfico diferencia de la Disponibilidad antes y después.	91
Figura N° 25 Gráfico Diferencia del tiempo medio entre fallas antes y después.	93
Figura N° 26 Gráfico Diferencia del tiempo medio de reparación antes y después.	94

## **RESUMEN**

La presente tesis es de tipo cuantitativo y cuasi experimental cuyo objetivo es determinar como la Implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la Confiabilidad de los equipos rotativos del área de galvanizado en una empresa metalmecánica, Lima 2017. En cuanto al tipo de investigación fue aplicada y explicativa con la finalidad de establecer la influencia de sus variables, la mejora continua y calidad de la investigación cuyo problema principal se concentra en la tasa de fallas, la población estuvo constituida por el número de fallas semanal correspondiente a la totalidad de los equipos rotativos, el tiempo utilizado para las mediciones realizadas semanalmente y consolidadas por un periodo de 24 semanas. En los resultados se logró determinar que aplicando el análisis de vibraciones mejoró la confiabilidad de los equipos rotativos, según los datos obtenidos en las pruebas realizadas se incrementó la confiabilidad en 5%, pasando de 92% a 97%, por otra parte la disponibilidad de los equipos en base a los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis de esta dimensión se logró alcanzar una mejora que pasó de 91% a 98% es decir un incremento de 7%, asimismo se mejoró el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación, en base a los resultados alcanzados de las pruebas de hipótesis realizadas a estas dimensiones se pudo obtener una mejora en los tiempos de 65% y 44.2% respectivamente.

Es importante mencionar que la muestra siguió una distribución normal mediante el software SPSS versión 22. Al finalizar el presente estudio se llegó a la conclusión que el análisis de vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos de la línea de galvanizado.

Palabra clave: Análisis de vibraciones – Confiabilidad - Disponibilidad

## ABSTRACT

This thesis is of a quantitative and quasi-experimental type whose objective is to determine how the implementation of a predictive maintenance plan by vibration analysis improves the reliability of rotating equipment in the area of galvanizing in a metalworking company, Lima 2017. Regarding the type of research was applied and explanatory in order to establish the influence of its variables, the continuous improvement and quality of the research whose main problem is concentrated in the failure rate, the population was constituted by the weekly number of failures corresponding to all the rotating equipment, the time used for weekly measurements and consolidated for a period of 24 weeks. In the results it was determined that applying the vibration analysis improved the reliability of the rotating equipment, according to the data obtained in the tests carried out, the reliability was increased by 5%, going from 92% to 97%, on the other hand the availability of The teams based on the results obtained from the hypothesis test of this dimension were able to reach an improvement that went from 91% to 98%, that is to say an increase of 7%, likewise the average time between failures and the average time of repair, based on the results obtained from the hypothesis tests carried out on these dimensions, it was possible to obtain an improvement in the times of 65% and 44.2% respectively. It is important to mention that the sample followed a normal distribution using the software SPSS version 22. At the end of the present study it was concluded that the analysis of vibrations improves the reliability of the rotating equipment of the galvanizing line.

Keyword:      Vibration      analysis      -      Reliability      -      Availability

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Realidad Problemática**

En las empresas industriales los sistemas productivos vienen evolucionando cada vez más en busca de la mejora de la eficiencia, la idea detrás de esto es: efectuar la producción necesaria, en el momento oportuno, con el mínimo empleo de recursos. A medida de los nuevos desarrollos tecnológicos las instalaciones se vuelven más complejas donde la automatizadas es la constante con grandes cadenas de producción.

El principal objetivo de las actividades de mantenimiento es garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos para las operaciones en relación de la función deseada cumpliendo con los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente.

Una de las principales técnicas en la Gestión del mantenimiento es el mantenimiento predictivo el cual tiene como función principal predecir la falla antes que estas sucedan; es decir tratar de adelantarse o detectar los indicios de falla o cuando el equipo o elemento deja de trabajar en condiciones óptimas. Por ejemplo, una alta vibración en los equipos rotativos acorta la vida útil de los rodamientos, acoplamientos, sellos y otros componentes esenciales; por ello la importancia de corregir lo más rápido posible las causas que originan las altas vibraciones.

En Europa, se ubican las grandes industrias a nivel mundial y es donde se dio origen al análisis del mantenimiento predictivo. Esto motivado por la necesidad económica allá por los años 30. Algunos procesos productivos se veían afectados por las paradas imprevistas de las máquinas. Ello implicaba altos costos y el evitarlos significaba importantes ahorros de dinero a las organizaciones.

Por ejemplo, en aquellas épocas se colocaba una moneda de canto o un vaso con agua estando las máquinas en funcionamiento y en función de estos métodos rudimentarios la vibración que se observaba en la maquina se intuía a grandes rasgos si era necesario el cambo de rodamientos.

El no saber las condiciones en las que están operando los equipos y el que, súbitamente, la producción se vea interrumpida por una falla, resalta la importancia de integrar el análisis de vibraciones a las actividades de mantenimiento.

El análisis de las vibraciones se basa en la interpretación de las señales de vibración para determinar y localizar el elemento que está próximo a fallar y así tomar la mejor decisión planificada y no afectar el proceso productivo por las implicancias de tipo económico y su impacto en la rentabilidad de las empresas.

De acuerdo con el cuadro mostrado en la figura 1, sobre los costos de mantenimiento de la maquinaria industrial general, existe una diferencia de costos significativa entre un programa de mantenimiento predictivo y reactivo.

Figura N° 1 Costos de mantenimiento

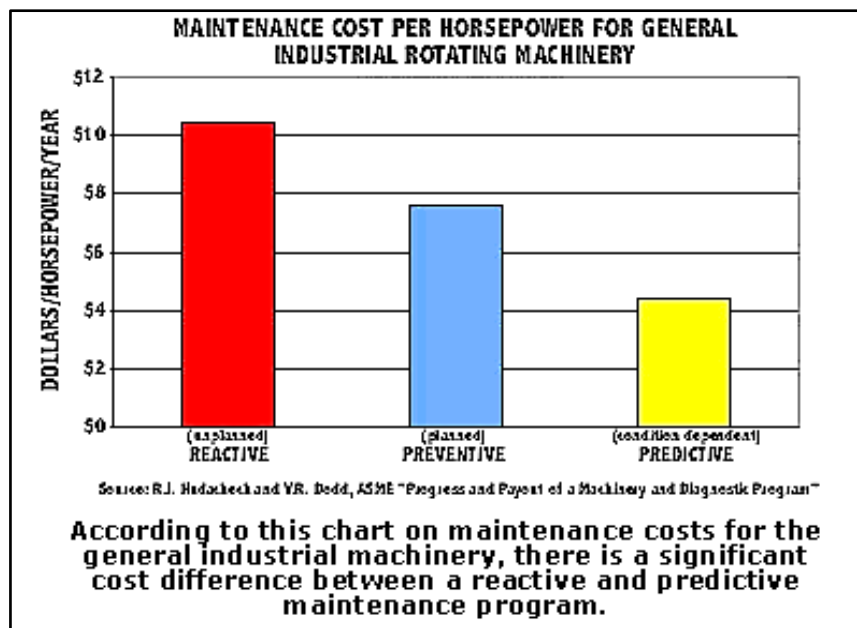


Gráfico de costos por HP para maquinaria industrial rotativa

En el Perú el sistema de gestión de mantenimiento en la mayoría de las empresas tiene un enfoque a corto plazo centrado en la reducción en el presupuesto de mantenimiento y muchas cosas de las que se deben realizar, se descuidan por restricciones de índole presupuestal dejándose de lado el hecho de que la

principal función del mantenimiento es mantener en forma óptima las máquinas y equipos.

En la actividad industrial del país, el deficiente mantenimiento de las maquinas produce roturas en el proceso productivo por averías de máquinas y equipos. Esto se ve reflejado en paradas imprevistas por la ausencia de procedimientos efectivos de mantenimiento de equipos.

El mantenimiento correctivo llamado también mantenimiento reactivo se realiza cuando se presentan las fallas y se da en las empresas que carecen de un sistema de gestión adecuado, pues se operan las máquinas hasta que estas se dañen. Lamentablemente, en muchas empresas del medio la práctica vigente es que si

el equipo o maquinaria no “se para” entonces no hay mantenimiento. Las consecuencias son graves pues se tiene que parar la producción hasta que el repuesto llegue o, de lo contrario, cambiar el equipo si es necesario.

En las empresas de procesos continuos las consecuencias son aún más graves pues las paradas imprevistas influyen directamente en la calidad del producto y en los tiempos de entrega al cliente programados lo que se traduce en incumplimientos y pérdida de confianza y credibilidad.

Las fallas que interrumpen el proceso tienen un alto costo en reparaciones reactivas, pérdidas de producción que se hace extensivo incluso a impactos graves en el medioambiente y de seguridad.

Por otro lado, como consecuencia de lo anterior, existen diversos costos ocultos como son: los altos costos de inventarios, alto costo de los repuestos pedidos por emergencia, mayor stock de repuestos en almacén que representan dinero inmovilizado, tiempos muertos en espera, materiales y mano de obra, altos costos de horas extra, tiempo considerable por parada de planta. Además, la calidad de un producto se ve afectado por las paradas imprevistas que muchas veces estos



productos salen al mercado y son detectados por el consumidor o cliente, generando un rechazo en el consumo.

Todo lo anterior afecta las ventas e ingresos a las empresas; el incumplimiento en la entrega de los productos en el tiempo acordado también es en muchos casos consecuencias de estas paradas imprevistas.

La empresa del rubro metalmecánica materia de la investigación es una de las más importantes y líder a nivel nacional en el rubro de alambres y derivados, está presente en todos los sectores económicos de nuestro país, construcción, agricultura, minería, industria y cuenta con una participación en varios países como Sudamérica, EE. UU, Europa y Oceanía.

Respecto a la problemática identificada, la investigación se ha desarrollado en el área de galvanizado. La misma es una de las áreas más importantes del proceso continuo en el recubrimiento de alambres.

Las fallas en los equipos rotativos que obligan a parar el proceso productivo, los mantenimientos preventivos que se realizan cambiando repuestos sin control de haber cumplido su vida útil con la finalidad de garantizar la operatividad de los equipos

Lo señalado se ha sistematizado en el diagrama de ISHIKAWA adjunto (figura N°2) el cual recoge diferentes problemas tomando como referencia las 6M

#### **1.1.1 Diagrama de Ishikawa**

El diagrama causa-efecto o también llamado diagrama de Ishikawa, conocido con ese nombre por su creador Kauro Ishikawa, un experto en el control de la calidad, quien desempeñó un papel relevante en el movimiento por la calidad en Japón y lo utilizó en forma sistemática siendo actualmente una de las herramientas de calidad más utilizadas junto a Pareto.

También es conocido como el diagrama de espina de pescado por la forma que este tiene. El objeto de Ishikawa era obtener un gráfico sencillo de fácil interpretación y que tenga relación entre un efecto y las causas que lo producen.

Es una herramienta que permite representar en forma gráfica un problema o enfoque central y sus posibles causas, el problema representa la cabeza de pescado de donde emerge la espina central de donde se derivan las causas mayores o espinas grandes que a su vez pueden estar conformadas por espinas más pequeñas llamadas causas menores.

Se emplea para poder obtener las posibles causas asociadas a un efecto, facilitando la identificación de los factores verdaderos que lo producen, se promueve la mejora de los procesos, se consolidan las ideas de los miembros que participan, favoreciendo el pensamiento del equipo. Las 6M que se considerado en el diagrama y que se muestra en la figura No 1 son:

Las 6M que se considerado en el diagrama y que se muestra en la figura 2 son:

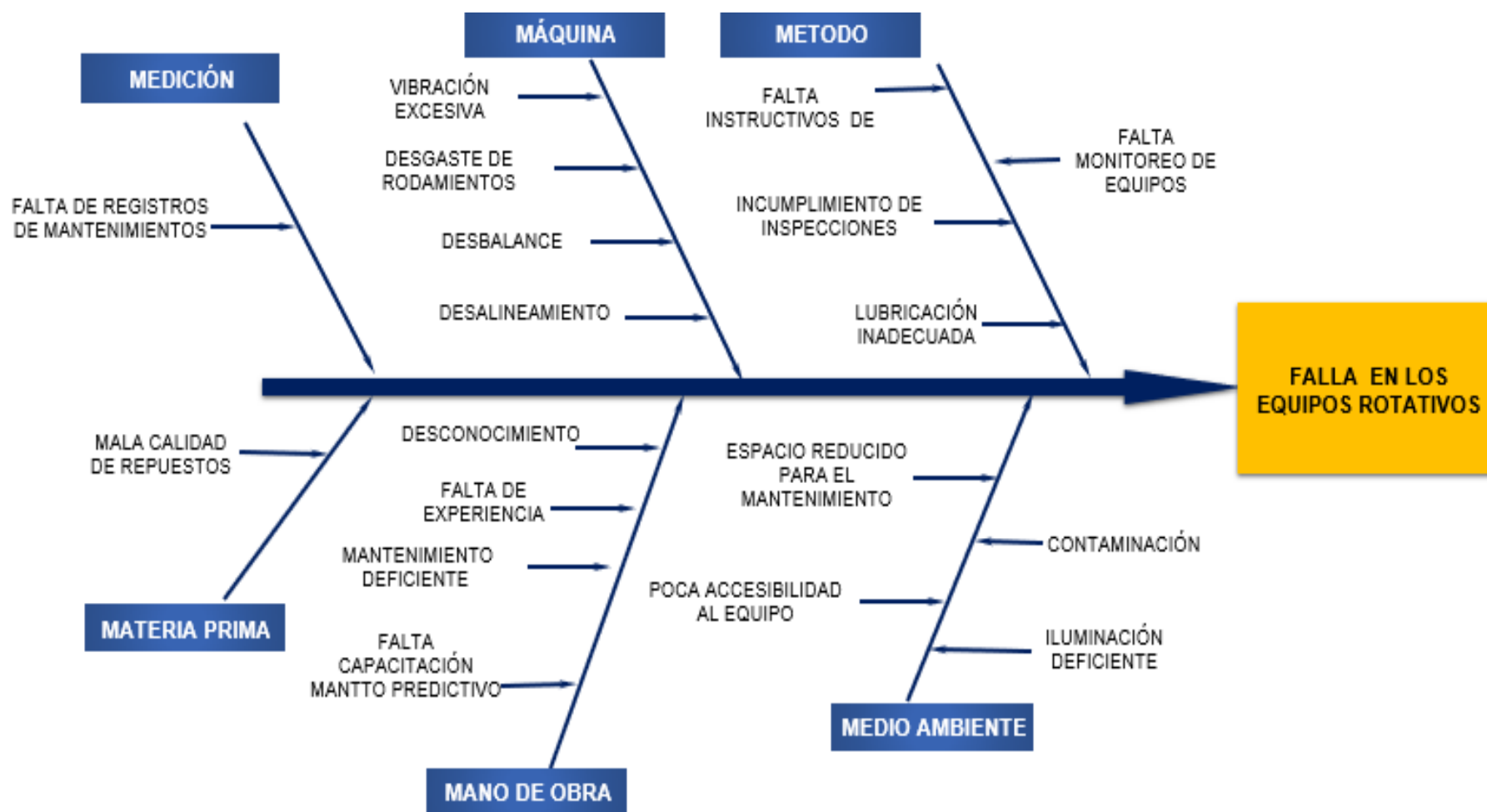
- **Mano de obra:** se considera todos los aspectos relacionados al personal, a la mano de obra calificada, el personal idóneo, motivación, habilidad.
- **Maquinaria:** todas las herramientas y maquinaria para obtener el producto final, se suele preguntar por la capacidad suficiente para su función, eficiencia, mantenimiento, repuestos, actualización.
- **Métodos:** Se evalúa la forma como se realizan las cosas, la forma como se desarrollan las actividades está significando resultados, se busca la falla de cómo se están haciendo las cosas, los métodos empleados en cada operación.
- **Medición:** se mide los resultados de aseguramiento de calidad, muestra, errores de medición, evaluaciones.
- **Materia prima:** todo lo que tiene que ver con los materiales en la empresa, la variabilidad, características, especificaciones, conformidad del material, facilidad para trabajar.

- **Medio ambiente:** Son las condiciones, el entorno donde se trabaja, clima y cultura organizacional, aspectos del medio ambiente como ruido, luz, frío, calor.

Para construir el diagrama causa-efecto se siguió los siguientes pasos:

- a) Se llegó a definir claramente el efecto, cuyas causas se fueron identificando de acuerdo con las 6M y colocando por escrito en el gráfico.
- b) Mediante una tormenta de ideas se analizaron y seleccionaron las causas reales.
- c) Se prueba la validez empezando desde la causa raíz para seguir el razonamiento del efecto que se está investigando, comprobando con los técnicos de mantenimiento que tiene sentido lógico, por lo tanto, se llegó a la conclusión que los factores causales de la falla de equipos rotativos es la vibración excesiva debido a un desbalance o desalineamiento provocando desgaste en los rodamientos.

Figura N° 2 Diagrama de Causa – Efecto Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

### **1.1.2 Diagrama de Pareto.**

De modo complementario al diagrama de ISHIKAWA, el diagrama de Pareto adjunto (figura N° 3), Es una herramienta de análisis que en función a sus prioridades nos ayuda a tomar decisiones y se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto y dice:

“El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan”. Es decir: un 20% de los errores vitales, causan el 80% de los problemas o también en el origen de un problema se encuentran un 20% de causas vitales y un 80% de causas triviales. (AZUARA, 2015)

#### **Beneficios del Diagrama de Pareto**

- Se aplica en cualquier situación donde se requiera realizar una mejora.
- Ayuda a identificar los problemas más importantes y determinar la causa raíz.
- Priorizar los esfuerzos de mejora y poder resolverlos.
- Fomenta el trabajo en equipo por la participación de las personas involucradas para el análisis de las causas del problema.

#### **Elaboración del Diagrama de Pareto**

Para la elaboración del Diagrama de Pareto (figura N°3) se ordenó la lista de causas de mayor a menor de acuerdo con la frecuencia con que se presentaron cada una de las causas para después calcular el porcentaje individual de cada causa y dividir el valor de cada una por el valor total de todas las causas.

El siguiente paso consta en calcular el porcentaje acumulado, sumando en orden decreciente los porcentajes de cada uno en forma acumulada.

Para el siguiente análisis de caso, se consideró Fallas en los equipos rotativos que se encuentra afectado por las siguientes causas:

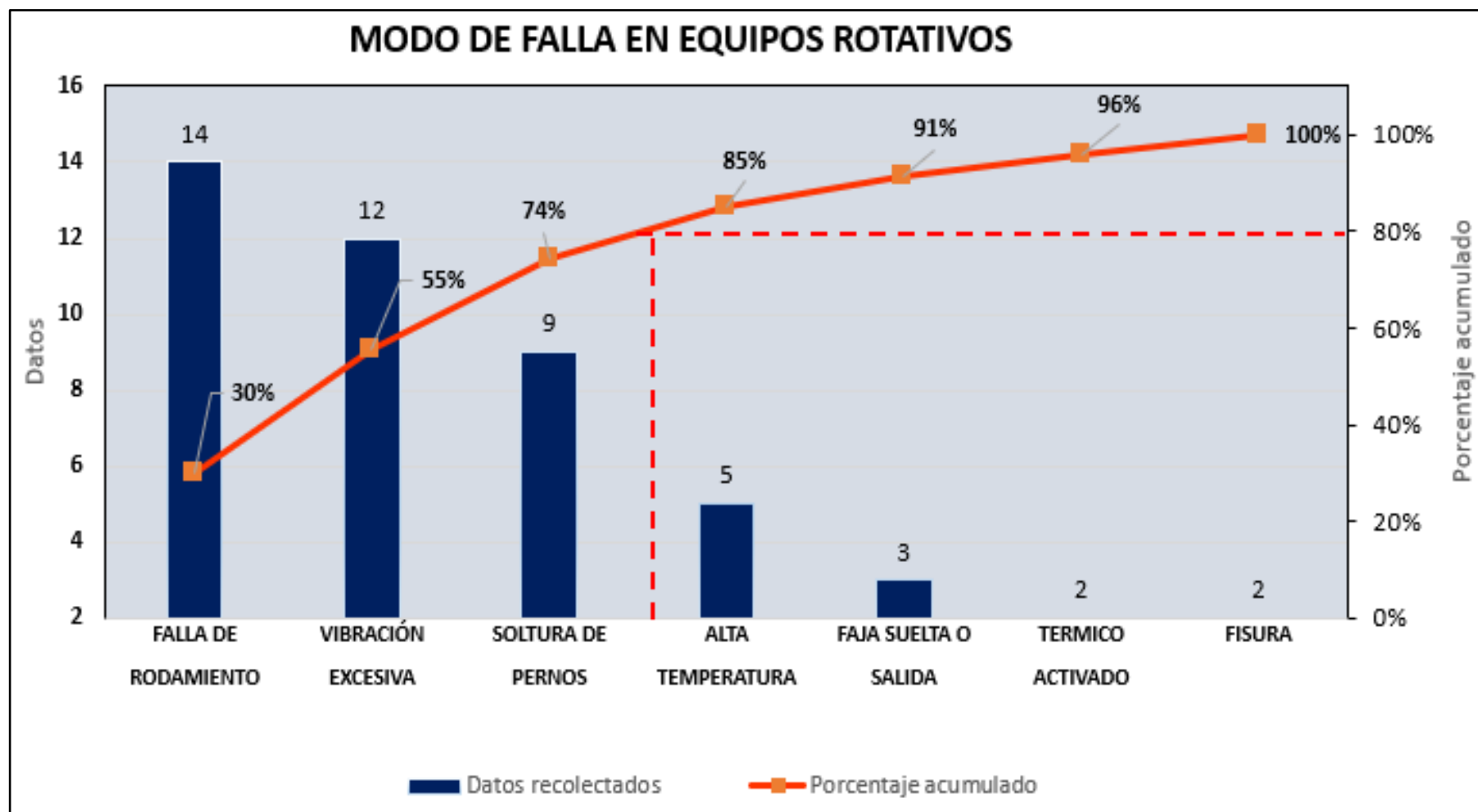
- Activación de térmico.
- Faja suelta.
- Falla de rodamientos.
- Fisura.
- Soltura de pernos de base.
- Temperatura excesiva en rodamientos.
- Vibración excesiva.

Se marcó sobre el gráfico una línea punteada sobre el valor correspondiente al 80% de porcentaje acumulado, se obtiene los siguientes resultados:

- Falla de rodamientos.
- Vibración excesiva.
- Soltura de pernos.

Estas son las 3 causas que están ocasionando el 80% de los defectos en este caso, por lo que los esfuerzos destinados a mejorarlos se deben concentrarse en estos 3 aspectos.

Figura N° 3. Diagrama de Pareto:



Fuente: Elaboración propia

## **Otras herramientas de diagnostico**

Adicionalmente, existen otras herramientas como:

### **Hoja de Verificación**

La hoja de verificación es una forma muy utilizada para registrar la información en el momento en que se está recabando. Esta forma puede consistir de una tabla o gráfica, donde se realiza un registro, se analiza y se pueden presentar resultados de una manera sencilla y directa.

Funcionabilidad:

Proporciona un medio para registrar de modo eficiente los datos que servirán de base para el sucesivo análisis.

Proporciona registros históricos, que ayudan a observar los cambios en el tiempo, favorece también en el principio del razonamiento estadístico.

Contribuye a interpretar los criterios en hechos y datos. Se puede utilizar también para validar las disposiciones establecidas.

### **HISTOGRAMA.**

Un histograma es una descripción gráfica de los valores medidos de forma individual de un volumen de información y que está organizado de acuerdo a la frecuencia o relativa frecuencia de ocurrencia.

Los histogramas ilustran la forma de la distribución de valores individuales en un paquete de datos en conjunción con la información referente al promedio y variación.

### **DIAGRAMAS DE CONTROL**

Un diagrama de control es una herramienta que sirve para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable, o para indicar que el proceso se mantiene en una condición inestable. Proporciona un método estadístico adecuado para distinguir entre causas de variación comunes o especiales mostradas por los procesos. Promueve la participación directa de los empleados en el logro de la calidad, sirve como una herramienta de detección de problemas.

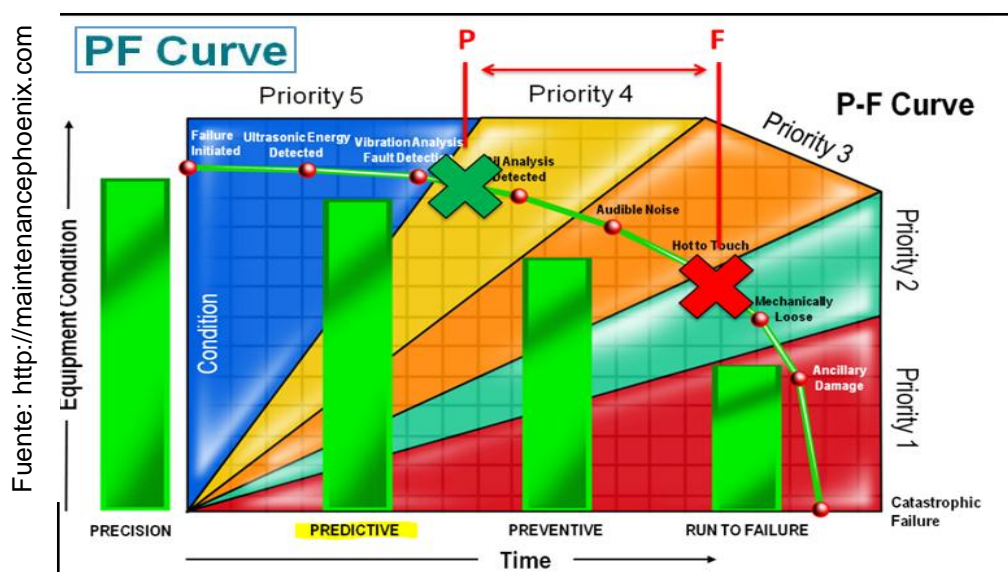


El mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones se debe aplicar a los equipos donde el proceso no puede ser interrumpido, el efecto es mejorar la confiabilidad de los equipos rotativos y para ello los equipos deben de tener la probabilidad que no falle en un tiempo determinado, también deben estar disponibles cuando el área de producción lo requiera para continuar con el proceso productivo; así mismo se debe garantizar la seguridad para las personas y el medio.

Actualmente no hay duda de la capacidad del análisis de vibraciones en máquinas rotativas para detección de averías, pero también es de mucha importancia saber que la deficiencia en la reparación o mantenimiento del equipo acorta su vida útil. En la figura N° 4, se muestra la detección temprana de una falla con la técnica del mantenimiento predictivo, la curva PF donde P es el momento que se detecta el fallo mediante alguna técnica predictiva, prueba o inspección y F es el momento en el cual la máquina sufre un daño funcional para luego pasar posteriormente a una soltura mecánica conllevando a un daño auxiliar a un fallo catastrófico.

Las tareas de mantenimiento se han de programar dentro del intervalo de la curva P-F, pero no justo en el punto F siendo este impredecible con exactitud y una vez alcanzado afectará la producción. Se debe intentar en lo posible actuar antes de llegar al fallo funcional (F) si se llegara alcanzar el punto F se estaría aplicando el mantenimiento reactivo.

Figura N° 4: Curva PF - Identificación Temprana de una falla



Según el cuadro, se explica las prioridades para identificación de una falla temprana:

- Prioridad 5: Fallo iniciado – Es detectado por instrumentos Energía ultrasónica detectada - Detección de falla análisis de vibración.
- Prioridad 4: Análisis de aceite detectado-degradación, para equipos que trabajan con aceite.
- Prioridad 3: Ruido audible - Caliente no se puede tocar.
- Prioridad 2: Mecánicamente suelto
- Prioridad 1: Daño anticipado

P=Punto de detección de falla o falla potencial.

F= Falla funcional

## **1.2 Trabajos previos**

Se estimó conveniente de respaldar la tesis con trabajos de investigación que puedan tener variables similares, que compartan sus objetivos, así como también su contribución en la selección de técnicas e instrumentos para el desarrollo y fundamento científico del estudio, por lo que se cita los siguientes antecedentes:

### **Antecedentes de la variable Independiente**

CRUZ, Adrián. (2011) Implementación del Mantenimiento Predictivo en la empresa Agr-Rackend, 87pp, tesis para optar el título de Ingeniería en mantenimiento industrial de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji en México. El objetivo principal fue desarrollar un programa de mantenimiento predictivo acorde a las necesidades de la empresa para dar confiabilidad en el funcionamiento óptimo de la maquinaria en la línea de producción de autopartes automotrices de dirección y suspensión en AGR-RACKEND en la planta Tula.

Para la implementación del mantenimiento predictivo se realizó la evaluación para saber la criticidad de las máquinas en el proceso, mediante un sistema informático. Se estableció un registro, seguimiento y control para realizar el plan y asegurar la confiabilidad del mantenimiento. Los resultados obtenidos posibilitaron

que la disponibilidad del equipamiento de la planta se aproximaba casi al 100 %. De esta manera se redujeron los costos de operación y mantenimiento.

Se llegó a la conclusión de que la implementación del mantenimiento predictivo en la empresa AGR-RACKEND planta Tula resolvió los problemas del control de la planeación de mantenimiento basado en confiabilidad y disponibilidad de las máquinas que afectaban al proceso productivo.

Este estudio aporta una gran experiencia en la aplicación de la implantación de técnicas predictivas y los beneficios en detectar problemas anticipándose a los fallos.

RUIZ, Adriana. (2012), Modelo para la implementación del mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo, 130pp, trabajo de investigación para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento de la universidad Industrial de Santander en Bucaramanga Colombia. Su objetivo fue desarrollar un modelo práctico de gestión para la implementación del mantenimiento predictivo aplicado a facilidades de producción de una empresa petrolera.

Se llegó a determinar que la empresa petrolera Hocol S.A. debe tener una disponibilidad en la parte mecánica de 95 % para obtener maxima rentabilidad en el negocio; sin embargo se observaba que la disponibilidad antes de la implementación del programa estaba en el orden del 90% debido a las fallas repetitivas en los principales equipos y auxiliares afectando la imagen de la organización por la ineficiencia y perdidas de producción.

Se utilizó la herramienta de analisis causa-raiz y de mejoras en casos puntuales pudiendo preever las fallas antes que sucedieran, asimismo en la red eléctrica se minimizaron las fallas que afectaban a la producción que fueron detectadas con inspecciones visuales y termográficas

Nos habla también del analisis de criticidad de los equipos para centrarse en lo más importante sin dejar de lado a los demás, el criterio que se tomó fue el

impacto que afecta a la producción, mantenimiento y seguridad. Las principales técnicas aplicadas fueron, monitoreo de condiciones eléctricas, termografía , ultrasonido, análisis de aceite.

Como resultado se obtuvo la disminución de riesgos operativos por la detección anticipada de las fallas evitando daños catastróficos y paradas inesperadas, se incrementó el tiempo de operación y disponibilidad de los equipos al disminuir las pérdidas de producción y la planeación adecuada disminuyó drásticamente el consumo de energía al tener equipos operando eficientemente. Los ahorros durante el año y medio que duró la implementación fueron de \$ 896,716 (valor de activos y pérdidas de producción).

Contribuyó también a la mejora de la cultura organizacional pues las personas que intervinieron en el proyecto conocieron una nueva forma de trabajar, realizando una labor más limpia y mejorando la imagen ante el cliente así como la preocupación por la condición del equipo antes que la reparación correctiva.

RIQUELME, Marcel (2013) Proyecto en monitoreo de condiciones para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas, 86pp, para optar el título de Ingeniero Electricista de la universidad de Chile, en la cual busca mejorar el monitoreo de condiciones de las palas electromecánicas de la compañía minera Doña Inés de Collahuasi.

Explica que las máquinas más importantes de la cadena de producción son las palas ya que son las que se encargan de llenar con material entre 10 a 15 camiones que llevan la materia prima para su procesamiento, una falla imprevista en una pala impacta demasiado en la producción que si fallara algún otro equipo. Por lo tanto, es de vital importancia el adecuado mantenimiento de las palas de extracción para realizar una estrategia de mantenimiento con una buena planificación. (pag.11, 24-26).

El monitoreo de condiciones que se venía realizando en la Cía. Minera Doña Inés por personal técnico de mantenimiento no es el adecuado porque para realizar las mediciones se requería detener la pala, lo que origina un gasto en horas hombre y

pérdidas de consideración en la producción. Se determina que estas mediciones y análisis no están aportando en la predicción de las fallas más críticas haciendo que el mantenimiento predictivo sea malo.

Se logró construir un gran proyecto al implementar un sistema de monitoreo de condiciones y crear una efectiva estrategia de mantenimiento predictivo esperando se refleje en el aumento de la disponibilidad de la flota a corto plazo.

GONZALES, Ramón (2009) Implementación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración en los compresores de tornillo de una empresa procesadora y enlatadora de productos del mar, 152pp, investigación realizada para la obtención del título de Ingeniero mecánico en la universidad de Oriente de la ciudad de Barcelona España.

El objetivo principal de esta investigación fue la implementación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones, para el cual se inició realizando observaciones a los procesos recopilando la información técnica de los equipos en estudio para determinar los puntos de medición, las rutas a seguir y niveles de alarma basado en normas internacionales. De los datos registrados de los niveles de vibración en el monitoreo se pudieron detectar problemas mecánicos para su corrección.

Se llegó a la conclusión que la implementación del mantenimiento predictivo fue realizada con éxito llegando a detectar espectros típicos de falla en una frecuencia de monitoreo establecida.

CHERRES Diego y ÑAUTA José (2015) Estudio de implementación del sistema de mantenimiento predictivo en la compañía ecuatoriana del caucho Erco, trabajo de investigación realizado para la obtención del título de Ingeniero eléctrico en la universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca-Ecuador.

El presente estudio elaboró un plan de mantenimiento predictivo para el diagnóstico de maquinaria de producción utilizando herramientas predictivas como la termografía y los análisis tanto vibracional como de aceites.

Se llegó a la conclusión que se logró cumplir con el objetivo general de realizar el estudio y la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo, así como la mejora en el costo beneficio que logra obtener un buen rendimiento en la empresa de caucho Erco.

### **Antecedentes de la variable Dependiente**

VILLACRÉS, Sergio. (2016) Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo hidrocleaner vactor M654 de la empresa Etapa EP, 96pp, trabajo de investigación para obtener el grado de magister en Gestión del Mantenimiento Industrial en la escuela Superior politécnica de Chimborazo en la ciudad de Riobamba Ecuador. (pág. 4,5,72,73)

El objetivo general de la presente investigación fue desarrollar un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para los equipos críticos para reducir la tasa de fallos.

Se llegó a la conclusión que por medio de la aplicación de la metodología en el plan de mantenimiento y de haber ejecutado las actividades correctivas que fueron detectadas con la mencionada metodología RCM, se pudo reducir en un 45% la tasa de fallos, asimismo el autor de la investigación hace varias recomendaciones como: hacer periódicamente un análisis de criticidad debido a que la tasa de fallos no es un valor constante en el tiempo, así como los planes de mantenimiento requieren ser revisados en cada cierto periodo de tiempo por motivo que el sistema de operación del vehículo es cambiante, recomienda la capacitación del personal de mantenimiento en la metodología RCM y en temas relacionados a la gestión de mantenimiento para que la implementación pueda incluir otros equipos.

ARÉVALO Gilberto y PAULINO Jony (2012) El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero, 288pp, trabajo de investigación para optar el grado académico de Maestro en Ingeniería con mención en Gerencia e

Ingeniería de Mantenimiento en la Universidad Nacional de Ingeniería en la ciudad de Lima-Perú.

Después de la evaluación y análisis de la metodología causa-efecto de las variables en estudio se observó una deficiencia en la gestión del mantenimiento que se ve reflejado en los equipos de la línea de flotación, una de las causas encontradas fue la falta de capacitación del personal de mantenimiento en las técnicas para el desarrollo de las diferentes herramientas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos y sistemas, lo que evidencia que no existe un mantenimiento predictivo y por consiguiente no se han evaluado cuantos equipos críticos existen en las diferentes líneas de producción ni existe historial de las fallas para realizar un análisis. Las faltas del uso de herramientas predictivas han implicado que se efectúen mantenimientos por ciclos o preventivos cada 30 días, lo que demanda gastos excesivos en la empresa.

Se realizó la evaluación de los equipos para determinar su criticidad y hacer el monitoreo para encontrar fallas potenciales, la no aplicación de técnicas predictivas trae como consecuencia la falla de los equipos principales que detienen el proceso productivo e implican una pérdida de 7500 ton/día.

De los resultados obtenidos se concluye que empleando las técnicas predictivas se logra optimizar la Gestión del Mantenimiento facilitando la toma de decisiones mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos.

Se puede observar en este estudio de investigación que los 5 equipos críticos evaluados después de la mejora tienen un tiempo medio entre falla (MTTR o TMEF) de 2850 horas por lo tanto se encuentra en condiciones normales de trabajo. Con respecto al tiempo medio de reparación (MTTR o TMDR) se encuentran en el mínimo, esto da lugar a una alta confiabilidad que en promedio de los 5 equipos estudiados es de 99.8 %.

SERENO Sergio (2016), Elaboración de planes de mantenimiento centrado en confiabilidad a equipos de planta Kimberly-Clark, trabajo de investigación

realizado para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Simón Bolívar en la ciudad de Sartenejas Venezuela. (161pp).

La investigación tiene como objetivo principal la ejecución de los principios básicos de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de esta manera consolidar los planes de mantenimiento, Se diseñaron planes de mantenimiento preventivo para disminuir la improductividad y el número de paradas por falla. para ello se realizó una capacitación de la metodología a aplicar y conocer el proceso productivo y levantar información de los equipos que la componen y definir la criticidad de estos, analizar el modo y efecto de fallas.

Se llega a la conclusión que mediante la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad se consigue importantes repercusiones en la producción de la planta por lo que se ve en la necesidad acercar los valores al 100% ya que los equipos estudiados se encuentran por encima de los valores aceptables. Con esta metodología se pudo reducir los costos de mantenimiento de la planta e incrementar la operatividad de la misma porque nos permite identificar los equipos más críticos y asignar mejor los recursos.

ROJAS Randall (2010), Plan para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para plantas de concreto en proyectos del ICE, proyecto de investigación realizado para optar el título de master en Administración de Proyectos en la Universidad para la Cooperación Internacional de la ciudad de San José Costa Rica.

El objetivo general fue desarrollar un plan para la implementación del proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para reducir costos del mantenimiento y garantizar la confiabilidad operacional del equipo.

Se evaluó el riesgo de falla de cada componente e identificar la causa raíz para la corrección efectiva en base a la optimización de los programas de mantenimiento, se elaboró un manual donde se incluye los check list, instructivos, repuestos e insumos requeridos en el proceso de la implementación con el fin de garantizar la operatividad total de la planta.



Para el cumplimiento se seleccionó un equipo de trabajo para cumplir con las actividades planteadas, se logró establecer claramente los objetivos y productos entregables del proceso.

Se llegó a la conclusión que con la aplicación del RCM a la planta de concreto IME se logró la optimización de las técnicas de mantenimiento aplicadas a las plantas de concreto que garantizan la confiabilidad, disponibilidad, seguridad y el uso adecuado de repuestos e insumos. Se recomienda extender la implementación en equipos estratégicos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

DA COSTA M. (2010), Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Tiene como objetivo el empleo de nuevas tendencias que optimicen su funcionamiento en el incremento de la confiabilidad. La presente investigación menciona, el uso de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad contempla no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea.

Al definirse los modos y las causas de las fallas con las técnicas predictivas se pudieron establecer la criticidad de cada una ellas y el impacto en las metas de producción, mantenimiento, salud y medio ambiente. La metodología empleada en esta tesis es de tipo causal, de diseño cuasi experimental porque existe un control mínimo en la variable independiente para lograr un efecto en la variable dependiente.

Como resultado de la aplicación de la metodología se espera lograr incrementar la vida útil de los componentes de los equipos, así como la disponibilidad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias, incrementando así, las ventas por la recuperación de petróleo crudo a un menor costo de mantenimiento. (p. 3)

La confiabilidad se logra mediante estrategias de mantenimiento usando metodologías para la identificación y eliminación de las causas que conducen a

una inminente falla, se incrementa la vida útil de los componentes y reducción de costos para elevar la productividad.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1 Mantenimiento Predictivo.**

“El Mantenimiento Predictivo consiste en la detección y diagnóstico de averías antes de que se produzcan. Así poder programar los paros para reparaciones en los momentos oportunos” (CUATRECASAS, 2010)

Este tipo de mantenimiento permite conocer el estado de los componentes de una máquina, detectar alguna avería a tiempo y programar las paradas en coordinación con el área de producción para las reparaciones requeridas con los repuestos y servicios solicitados con antelación.

“El Mantenimiento Predictivo, basado en el uso de sistemas de diagnóstico para el análisis de fallas, es la respuesta conveniente en la conservación económica de los equipos y la minimización de las paradas”. (GARCÍA, 2012)

El predictivo son tareas realizadas con una frecuencia de tiempo determinada para detectar las fallas, no siendo necesario realizar grandes desmontajes y en casi todos los casos no es necesario parar la máquina.

“El establecimiento de patrones en condiciones normales de operación permite diferenciar situaciones fuera del estándar, lo cual se logra con el análisis de vibraciones, una de las metodologías más certeras en el diagnóstico y monitoreo de equipos y elementos”. (MORA, 2009)

Las máquinas tienen una determinada vibración en condiciones normales de operatividad, las cuales son comparadas con las tablas de vibraciones establecidas como patrones por la ISO, para detectar mediante el análisis de vibraciones desviaciones fuera de lo normal.

“Por ello el mantenimiento predictivo, consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica, eléctrica, etc.) real de la máquina o instalación

examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, haciendo uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo”. (CARCELL, 2014) .

Mediante la aplicación de las técnicas predictivas se puede determinar las condiciones del equipo en pleno funcionamiento, consiguiendo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos consiguiendo minimizar los costos por mantenimiento o por no producción.

### **1.3.2 Plan de Mantenimiento.**

“El plan de Mantenimiento debe ser, entre otras cosas, realizable” (GARCÍA, 2003 pág. 39)

La importancia de un plan de Mantenimiento Predictivo se basa en haber analizado todos los fallos posibles y que se ha diseñado para evitarlos, para elaborar un buen plan de mantenimiento se debe asegurar de que todo lo que se indica en el plan es realizable que una vez redactado se comprueben todas las tareas y fijar los rangos de medida, se deben asignar una o varias personas que se encargarán de su realización contando con los recursos adicionales para su realización, realizar una acción de formación para la puesta en marcha del plan, con explicaciones claras el alcance de todas las tareas y que se debe hacer en el caso de encontrar anomalías, supervisar la realización durante las primeras semanas de implementación tomando en cuenta los comentarios y sugerencias.

A medida que se lleva a cabo el plan y se realizan las distintas tareas de mantenimiento se detectan mejoras que es posible introducir como cambiar la frecuencia de monitoreo y tareas que resultan innecesarias, es mucho más útil elaborar el plan basándose en el análisis de los equipos y sus fallos potenciales, se debe tener en cuenta el plan con las recomendaciones del fabricante. La principal ventaja del mantenimiento predictivo se basa en la velocidad de detección en forma anticipada y temprana del hecho.

Una de las tareas más comunes que se realizan en el mantenimiento predictivo en equipos rotativos es el análisis de la condición de los rodamientos. Los ejes rotativos de las máquinas se apoyan en los rodamientos, estos son los elementos que sufren mayor desgaste y que se requieren cambiar con mayor frecuencia. Siendo una de las técnicas más usadas en el predictivo el análisis de vibraciones, con la cual se puede saber el estado de los rodamientos y su evolución sin interrumpir la operación. Así se puede planificar con anticipación el cambio de los rodamientos y se evitan los paros no programados.

### **1.3.3 Beneficios del Mantenimiento Predictivo**

La inversión que se pueda realizar para la implementación del mantenimiento Predictivo es totalmente justificable, si se logra alcanzar el objetivo fundamental del programa de mantenimiento, los ahorros obtenidos de los beneficios que se pueden lograr, se pueden mencionar los siguientes:

- La anticipación de fallas en estado inicial que convierten los daños en rutinas programadas de mantenimiento.
- Se eliminan la frecuencia de inspecciones programadas de mantenimiento, en que se requiere desarmar los equipos.
- Aumento de la frecuencia de las las revisiones detalladas con respecto a las inspecciones generales de mantenimiento preventivo.
- Se suprime casi el total de las fallas accidentales, lo cual se ve reflejado en una mayor productividad.
- Crece el factor de servicio por el diagnóstico de la severidad de los problemas y disminución del tiempo de parada necesaria para las reparaciones que han sido debidamente programadas.
- Ahorro y disminución de repuestos, ya que estos se reemplazan solamente cuando se les ha agotado su vida útil.
- Corrección anticipada de muchos problemas de montaje que generan fallas reiteradas en la maquinaria.

- Se reduce el número de equipos en stand-by gracias al incremento de la confiabilidad de los equipos en operación.
- Ahorro notable en el consumo de energía, cuando los equipos trabajan en óptimas condiciones.
- Garantía del cumplimiento de las características de diseño y mejora general de la seguridad de equipos e instalaciones. (GARCÍA, 2012)

#### **1.3.4 Importancia del Mantenimiento Predictivo.**

En la industria cada vez tiene mayor importancia el mantenimiento Predictivo porque es aplicado para predecir o adelantarse a la falla que podría llevar a una catástrofe, asimismo la vida de la máquina y la salud de las personas son aspectos que van relacionados uno del otro.

El mantenimiento predictivo se basa fundamentalmente en el análisis de vibraciones porque toda máquina tiene un cierto nivel correcto de vibraciones y ruidos que son característicos de esa máquina.

Las máquinas pueden ocasionar graves daños es por eso la importancia del mantenimiento predictivo para la detección y corrección de los fenómenos que han sido detectados y diagnosticados que podrían dar lugar a los posibles daños.

El nuevo enfoque del predictivo la conjugación de la vida de la máquina (parte técnica) y la salud de las personas (parte humana).

#### **1.3.5 Implementación del Mantenimiento Predictivo.**

“Cuando se ha logrado crear conciencia de los beneficios del sistema y se ha tomado la decisión de implantarlo, al evaluar las alternativas se debe tener en cuenta, que debido a la existencia de múltiples métodos para el diagnósticos de los equipos, todos ellos tienen características diferentes”. (GARCÍA, 2012 pág. 68)

Para la implementación de un sistema de Mantenimiento Predictivo, se debe realizar un estudio teniendo en cuenta las condiciones de la organización.

**a) Evaluación de las necesidades del sistema.**

Se debe analizar los criterios tanto Económicos y estratégicos, el primero analiza los costos de mantenimiento en función a la mano de obra, los equipos críticos y repuestos, las pérdidas de producción ocasionados por paros inesperados. El estratégico toma en cuenta las incidencias que afectan la capacidad del sistema productivo en los que pueden destacar: la cantidad de paradas, la cantidad de máquinas críticas, desenvolvimiento operacional de los equipos con el desgaste, Recursos para mantenimiento.

**b) Reordenamiento de la estructura del departamento de mantenimiento.**

Es recomendable dividir en dos equipos de trabajo, los técnicos de Mantenimiento que se van a dedicar al Predictivo y los que se van a dedicar al Mantenimiento Correctivo. Esto se debe para evitar que las urgentes labores de correctivos puedan impedir las actividades del mantenimiento predictivo, es necesario contar también con personal disponible y capacitado en las técnicas predictivas con el fin de poder asegurar el cumplimiento de las inspecciones o toma de datos.

**c) Evaluación de alternativas de operación.**

De acuerdo con el autor (GARCÍA, 2012) existen cuatro alternativas de operación para la implementación de un sistema de Mantenimiento Predictivo.

**Contratación del servicio de Monitoreo.** Hay empresas dedicadas a la prestación de servicios de mantenimiento predictivo, se sugiere comprobar su eficacia para luego analizar su posterior implementación por parte de la empresa.

**Medición más servicio de análisis.** Es otra posibilidad para una implementación básica para detectar anomalías por parte del personal propio a la empresa, se realiza donde la empresa compra los equipos básicos para las mediciones,

conforme aumenta la severidad de las lecturas será cuando se requiera el servicio de diagnóstico más detallado. Se dependerá menos del servicio externo y el personal propio de la empresa estará vinculado a la nueva tecnología.

**Medición y grabación de indicadores, incluye servicio de análisis.** Se desarrolla con un equipo donde los datos quedan grabados para que el servicio que realiza el diagnóstico externo pueda analizar las señales perteneciente a cada equipo y determinar si hay que intervenir alguno que este fuera de norma, a partir de ese diagnostico. Este tipo de servicio externo se utilizará mientras se capacita al personal propio el cual se debería estar familiarizando con la toma de datos y los diagnosticos que se informan.

**Medición y análisis con equipos propios.** Es uno de los niveles más complicados para la implementación porque se necesita adquirir equipos de análisis apropiado, personal altamente capacitado para su operación. Es justificada su inversión cuando se desea eliminar las paradas imprevistas por la falla de algún equipo que llevan a un alto costo por el tiempo perdido.

#### **d) Clasificación de equipos para sistemas de control.**

Las frecuencias de control de los niveles de operación en condiciones normales se pueden llevar de distintas formas y con diversos niveles de instrumentación de acuerdo a la alternativa seleccionada. Se recomienda clasificar a los equipos en tres categorías:

Máquinas de propósito general que no son críticas. No se requiere de diagnóstico especializado, es posible solo el uso de medidores de vibración simple o analizadores de espectros, son inspeccionados por técnicos con mucha experiencia, que si encuentran condiciones fuera de lo normal, reportan una inspección más exhaustiva.

Los equipos críticos deben ser analizados por personal experimentado en Mantenimiento Predictivo, quienes además deben de registrar los parámetros de trabajo diario, temperaturas, velocidades, presiones, consumos anormales de

energía y demás variables de proceso que son auxiliares para un correcto diagnóstico.

### **1.3.6 El Análisis de Vibraciones**

“La tecnología más implantada y la más fácil de percibir es el análisis de vibraciones. Resulta de gran interés, puesto que la mayoría de máquinas están sometidas a algún tipo de vibración, y no resulta difícil, en general, establecer una relación medible e interpretable entre el tipo, intensidad y de frecuencia de las vibraciones y algún aspecto del estado del equipo”. (CUATRECASAS, 2010 pág. 224).

Esta técnica predictiva consiste en el monitoreo y análisis por medio de instrumentos el nivel de vibración de una determinada máquina para conocer su estado de funcionamiento. Los responsables de mantenimiento pueden con esta herramienta determinar las fallas de manera temprana y evitar una parada no planeada en el proceso productivo, consiguiendo de esta manera evitar las pérdidas en productividad y equipamiento, generando importantes ahorros a las empresas que la utilizan. Habitualmente se usa en máquinas críticas para producción y seguridad, sobre todo en equipos que forman parte de una producción continua y donde una parada imprevista genera significativamente altos costos.

Los altos niveles de vibración son normalmente el producto de la transmisión de fuerzas lo que provoca el desgaste y/o deterioro de las máquinas, cada máquina tiene la particularidad de vibrar a una frecuencia característica, en el correcto estado de operación tiene un cierto nivel de vibraciones y ruido, se puede considerar como patrón de referencia en su funcionamiento satisfactorio.

La aplicación del análisis de vibraciones ya no es ahora exclusivo de las empresas de clase mundial, actualmente es utilizado casi en todas las grandes industrias del país, en particular en la Gran Minería.



El mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones tiene como objetivo final de asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria a través del monitoreo continuo de los niveles de vibración de las mismas, esto nos da como resultado la condición del equipo y se realiza sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

### **Ventajas del análisis por vibraciones aplicado al mantenimiento de las Máquinas industriales:**

- Detección anticipada e identificación de averías sin necesidad de parar ni desmontar la máquina.
- Monitoreo de la evolución del defecto en el transcurso del tiempo hasta que este presente peligro.
- Pedir con el tiempo suficiente el suministro del repuesto y la mano de obra requerida para la intervención de la máquina.
- Programación de la parada para la intervención de la máquina en tiempo muerto o parada rutinaria del proceso productivo.
- Reducción del tiempo de reparación por la planificación anticipada.
- Se minimizan los costos al disminuir el número de paradas imprevistas que afectan la producción.
- Condiciones de operación más seguras.

Son muy significativas las ventajas que nos proporciona el mantenimiento predictivo, sin embargo su implementación en un principio demanda de la compra de equipos de monitoreo muy costosos, es por eso la importancia de evaluar la adquisición del equipo que mejor se adecue a las necesidades de la planta y contar con la experiencia de personal calificado para la adaptación de esta nueva herramienta de mantenimiento.

### 1.3.7 Variable Dependiente

#### “Confiabilidad de los equipos rotativos”

“La confiabilidad operativa es una de las más modernas estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han usado. Se basa en análisis de condición y en análisis estadísticos, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de la organización”. (GARCÍA, 2012 pág. 90).

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo no falle y cumpla su función para el que fue diseñado bajo condiciones de operación determinados en un período de tiempo.

La confiabilidad de un equipo es la medida de la frecuencia con la que ocurren las fallas en el tiempo, si no hay fallas el equipo es confiable en un 100%, si la frecuencia de las fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aceptable; pero si la frecuencia de las fallas es muy alta se considera que el equipo es poco confiable.

El cálculo de la confiabilidad (R) está en función del MTBF y el MTTR y se basa en la expresión desarrollada por el ingeniero Lourival Tavares.

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

#### El MTTR (Tiempo promedio entre fallas)

$$MTBF = \frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$$

## El MTBF (Tiempo promedio de reparación)

$$MTTR = \frac{\text{Nº de Horas parada por avería}}{\text{Nº Total de averías}}$$

Los programas de mantenimiento predictivo funcionan muy bien identificando los problemas inminentes en las máquinas utilizando las tecnologías del mantenimiento predictivo para luego aplicar las medidas correctivas, pero lo que no se hace bien es el análisis adicional para poder reducir los problemas y evitar que se repitan, estos problemas son ocasionados o abarcados por falta de precisión en los esfuerzos del mantenimiento.

Reducir los problemas predecibles incrementa la confiabilidad a la operación, pero no sólo se trata de predecir los mismos problemas si no de reducir o eliminar los modos de falla con técnicas de mantenimiento de precisión para la reparación o mantenimiento de la máquina.

La mejora de la confiabilidad de los equipos de una empresa debe ser el objetivo número uno del mantenimiento predictivo, se debe examinar no sólo los problemas en las máquinas y materiales, sino todo lo que afecte al mantenimiento y la confiabilidad. Para la mejora de la confiabilidad es importante entender cómo el mantenimiento de precisión, el análisis de causa raíz y la gestión proactiva de repuestos, son herramientas claves en los programas actuales del mantenimiento predictivo.

### Beneficios de la Confiabilidad

Entre los beneficios de la confiabilidad se pueden mencionar los siguientes:

- Aumento de la disponibilidad de los equipos e instalaciones.
- Detección anticipada de las fallas y mejora de los tiempos de intervención de los equipos.
- Solución de problemas identificando y solucionando desde la causa raíz.
- Se integra la gestión de mantenimiento y producción.

- Se aumenta la calidad de los procedimientos y servicios de Mantenimiento.
- Incremento de las utilidades por la continuidad en los procesos de producción.
- Se mejora competitividad en el mercado.
- Se mejora la gestión del mantenimiento.

## **1.4 Formulación del problema**

### **1.4.1 Problema General**

¿De qué manera un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad en los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

- ¿De qué manera un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora la disponibilidad en los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica?
- ¿De qué manera un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis vibraciones mejora el tiempo medio entre fallas de los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica?
- ¿De qué manera un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora de tiempo medio de reparación de los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica?

## **1.5 Justificación del estudio**

### **1.1 Justificación Teórica**

En investigación hay una justificación teórica cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados o hacer epistemología del conocimiento

existente. Cuando en una investigación se busca mostrar las soluciones de un modelo, está haciéndose una justificación teórica. (BERNAL, 2010 pág. 106)

El presente trabajo de investigación se busca solucionar las fallas en base a una de las técnicas del mantenimiento predictivo como es el análisis de vibraciones en equipos rotativos en base a los conocimientos y herramientas ya existentes para mejorar la confiabilidad de los equipos críticos, mejorar las operaciones, reducir los tiempos muertos en la línea y por consiguiente mejorar la productividad de la planta, la seguridad de los colaboradores y equipos de la empresa.

### **1.5.2 Justificación Práctica**

“Se considera que una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo”. (BERNAL, 2010 pág. 106).

El presente trabajo se justifica porque se pondrá en práctica el plan de mantenimiento predictivo a través del análisis de vibraciones, de esta manera se pretende anticipar a las fallas y poder eliminarlas, se puede realizar un plan para actuar anticipada y oportunamente la intervención del equipo que ha sido detectado con una inminente falla, con esta herramienta de predictivo se reduce los tiempos de parada y se tendrá mayor disponibilidad de los equipos en la línea de producción.

### **1.5.3 Justificación Metodológica.**

En investigación científica, la justificación metodológica del estudio se da cuando el proyecto que se va a realizar propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento valido y confiable. (BERNAL, 2010 pág. 107).

El presente estudio se justifica pues se utilizarán las metodologías de investigación científica que permitan relacionar científicamente las variables en estudio: Mantenimiento Predictivo y Confiabilidad de los equipos rotativos.

Servirá como referencia a estudios futuros que puedan realizarán, profesionales e investigadores, se espera contribuir y demostrar las técnicas y herramientas en el área de operaciones, que buscan determinar cómo mejorar los procesos productivos para reducir los tiempos de paradas inesperadas (tiempos muertos) en las líneas de producción.

## 1.6 Hipótesis

### 1.6.1 Hipótesis General

La implementación de un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora la **confiabilidad** en los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica. Lima - 2017.

### 1.6.2 Hipótesis específicas.

**HE1.** La Implementación de un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora la **disponibilidad** de los equipos rotativos del área de Galvanizado en la empresa metalmecánica. Lima - 2017

**HE2.** La implementación de un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora el **tiempo promedio entre fallas** en los equipos rotativos del área de Galvanizado en la empresa metalmecánica. Lima - 2017

**HE3.** La implementación de un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora el **tiempo promedio de reparación** en los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica. Lima – 2017-

## **1.7 Objetivos.**

### **1.7.1 Objetivo General**

Determinar en qué medida la implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos del área de Galvanizado en la empresa metalmecánica. Lima – 2017.

### **1.7.2 Objetivo Específicos**

Determinar en qué medida la implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la disponibilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica. Lima – 2017.

Determinar en qué medida la implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora el tiempo medio entre fallas de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica. Lima – 2017.

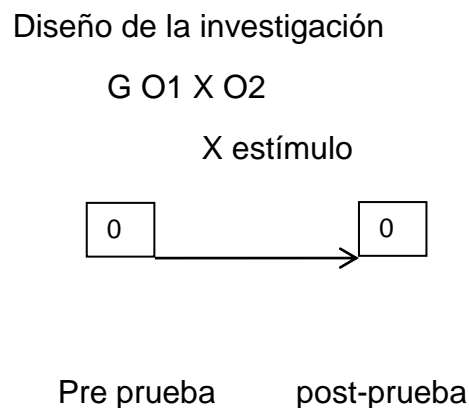
Determinar en qué medida la implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora el tiempo medio de reparación de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica. Lima – 2017.

## **II. MÉTODO**



## 2.1 Diseño de investigación.

En esta investigación se consideró el diseño cuasi experimental , ya que existe un control mínimo de la variable independiente, se trabaja con un solo grupo (G) al cual se le aplica un estímulo (Análisis de vibraciones a través del mantenimiento predictivo) para determinar su efecto en la variable dependiente (Confiabilidad de los equipos rotativos), aplicándose un pre prueba y post prueba luego de aplicado el estímulo.



G: Equipos rotativos críticos del área de galvanizado

O1, O2: Observación de la confiabilidad de los equipos rotativos antes (medición pre prueba) y después (medición post prueba).

X: Estímulo: Análisis de vibraciones a través del mantenimiento Predictivo.

### Tipo de Estudio

El tipo de investigación es Cuantitativa, descriptiva y aplicada. Es descriptiva porque busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Y de tipo aplicada ya que hará uso de conocimientos ya existentes para dar solución a los problemas.

## **2.2 Variables**

### **2.2.1 Variable independiente:**

#### **Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones.**

Esta técnica es la más efectiva para la monitorización de vibraciones para determinar el estado de las máquinas y determinar las causas para la corrección del problema que ellas representan. Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral.

#### **Dimensiones de la Variable Independiente**

En la presente investigación se tomaron las siguientes dimensiones:

#### **Capacitación**

“El equipo natural de trabajo juega un papel muy importante, porque es el único responsable de divulgar de manera correcta y eficiente la filosofía, según la cual las personas involucradas verán como una solución a sus problemas”. (Mora A. 2009, p.445).

#### **Capacitación del personal**

$$\text{Capacitación} = \frac{\text{Nº Personas capacitadas}}{\text{Total de Personas}} \times 100$$

#### **Implementación**

“Dentro del proyecto la valoración y/o implantación de estas técnicas, haciendo una depurada evaluación de en qué equipos y en qué medida es conveniente aplicar esta técnica”. (CUATRECASAS, 2010 pág. 223)

## Cumplimiento de Implementación

$$\text{Implementación} = \frac{\text{Nº de maquinas a predictivo}}{\text{Total de maquinas a Pd.}} \times 100$$

## Monitoreo

La capacidad de detectar con antelación las averías para los sistemas monitorizados, y la subsiguiente reducción de tiempo del tiempo de paro de las máquinas, puede proporcionar beneficios clave a la empresa. (Cuatrecasas L. 2010, p.220).

## Cumplimiento de monitoreo

$$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$$

### 2.2.2 Variable Dependiente

Confiabilidad de equipos rotativos: los equipos son confiables siempre que se aplique la técnica de análisis de vibraciones a través de la cual se puede monitorear y controlar la “salud” del equipo y su costo de realización sea menor que el impacto que produce la falla en la parte operacional, en la seguridad de las personas e instalaciones.

## Dimensiones de la variable Dependiente

### Disponibilidad

“Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la cual fue destinado”. (MORA, 2009 pág. 67).

### Disponibilidad total de los equipos

$$\text{Disp.} = \frac{\text{Total Hrs prog.} - \text{Hrs parada por mantto}}{\text{Total Hrs programadas}} \times 100$$

Es de mucha importancia la presente investigación que se realiza en el proceso de galvanizado en caliente porque cualquier falla que interrumpa el proceso productivo ocasiona pérdidas significativas en la empresa. Para minimizar las fallas se implementó un plan de mantenimiento predictivo con ayuda de un equipo electrónico para la toma de datos de vibraciones para luego realizar el análisis de las vibraciones que se encuentra fuera de lo normal y así tomar una decisión para intervenir el equipo antes que falle.

### Confiabilidad

“La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con lo cual ocurren las fallas”. (MORA, 2009 pág. 95).

### Tiempo promedio entre fallas

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$$

### Tiempo promedio de reparación

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Nº de Horas parada por avería}}{\text{Nº Total de averías}}$$

### Medición de la confiabilidad

El cálculo de la confiabilidad (R) está en función del MTBF y el MTTR .

$$R = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100$$

## 2.2.3 Operacionalización de Variable Independiente

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE								
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	CONCEPTO	INDICADORES	FORMULAS	ESCALA DE INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
V.I. Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones.	El establecimiento de patrones en condiciones normales de operación permite diferenciar situaciones fuera del estándar, lo cual se logra con el análisis de vibraciones, una de las metodologías más certeras en el diagnóstico y monitoreo de equipos y elementos. (Mantenimiento.Planeación, ejecución y control, Mora A. 2009, p. 408)El establecimiento de patrones en condiciones normales de operación permite diferenciar situaciones fuera del estándar, lo cual se logra con el análisis de vibraciones, una de las metodologías más certeras en el diagnóstico y monitoreo de equipos y elementos. (Mantenimiento.Planeación, ejecución y control, Mora A. 2009, p. 408)	El Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mecánicas requiere de la capacitación del personal técnico de mantenimiento en las técnicas predictivas para luego llevar acabo la implementación y el control respectivo para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos rotativos a través de la vigilancia continua de los niveles de vibración de las mismas.	Capacitación	El equipo natural de trabajo juega un papel muy importante, porque es el único responsable de divulgar de manera correcta y eficiente la filosofía, según la cual las personas involucradas veían como una solución a sus problemas. ( Mora A. 2009, p.445 ).	Capacitación del personal	$\text{Capacitación} = \frac{\text{Nº Personas capacitadas}}{\text{Total de Personas}} \times 100$	Razón	Ficha de registro
			Implementación	Dentro del proyecto la vibración y/o implantación de estas técnicas, haciendo una depurada evaluación de en que equipos y en que medida es conveniente aplicar esta técnica.(Cuatrecasas L. 2010, p.223).	Cumplimiento de Implementación	$\text{Implementación} = \frac{\text{Nº de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$	Razón	Ficha de registro
			Monitoreo	La capacidad de detectar con antelación las averías para los sistemas monitorizados, y la subsiguiente reducción de tiempo del tiempo de paro de las máquinas, puede proporcionar beneficios clave a la empresa. (Cuatrecasas L. 2010, p.220).	Cumplimiento de monitoreo	$\text{TF} = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	Razón	Ficha de registro
Fuente: Elaboración propia								

## 2.2.4 Operacionalización de Variable Dependiente.

### OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	CONCEPTO	INDICADORES	FORMULAS	ESCALA DE INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
V.D. Confiabilidad de los equipos rotativos	La confiabilidad operativa es una de las más modernas estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han usado. Se basa en análisis de condición y en análisis estadísticos, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de la organización.(García O. 2012, p. 90).	Predecir una inminente falla y poder programar su intervención mejora la confiabilidad de los equipos rotativos, los cuales deben estar disponibles para su operación en cualquier momento cumpliendo con la seguridad para las personas y el medio .	Disponibilidad	Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la cual fue destinado.( Mora A, 2009, p. 67).	Disponibilidad total de los equipos	$\text{Disp.} = \frac{\text{Total Hrs prog} - \text{Hrs parada por mantto}}{\text{Total Hrs programadas}} \times 100$	Razón	Ficha de registro
				La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas.(Mora A, 2009, p. 95).	Tiempo promedio entre fallas	$\text{MTBF} = \frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$		
			Tasa de fallas y Reparación		Tiempo promedio de reparación	$\text{MTTR} = \frac{\text{Nº de Horas parada por avería}}{\text{Nº Total de averías}}$	Razón	Ficha de registro

Fuente: Elaboración propia

## **2.3 Población**

Hernández (2010, p.174) cita a Selltiz et al. (1980) una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.

La población estaría constituida por el número de fallas correspondiente a la totalidad de los equipos rotativos en los meses comprendidos entre Julio a diciembre 2016.

### **2.3.1 Muestra**

En nuestro caso considerando el tamaño de la población no fue necesario hacer muestreo y la muestra a ser considerada es igual a la población.

Hernández citado en Castro (2003), expresa que “si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra” (p.69).

### **2.3.2 Criterios de Selección**

#### **Inclusión**

En la línea de Galvanizado fueron incluidos 10 equipos rotativos críticos por la importancia y lo que significa en pérdidas detener el proceso productivo continuo si uno de estos equipos falla repentinamente.

#### **Exclusión**

Se excluyeron los equipos que no intervienen significativamente en el proceso y tienen recambio o están en espera para su reposición cuando se estime conveniente.

## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.**

### **2.4.1 Instrumentos de recolección de datos**

**Observación directa:** mediante este método se conoce e identifica de manera directa y objetiva la situación actual del proceso del mantenimiento por análisis de vibraciones para mejorar la confiabilidad de los equipos rotativos en el área de galvanizado.

**Revisión documental:** los documentos pertinentes a la aplicación tanto procedimientos y registros del proceso de implementación, se analizaron para poder tener un control del mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones.

### **2.4.2 Instrumento:**

Según se “Considera que un instrumento de medición adecuada es aquel que registra datos observables que presentan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente” (HERNANDEZ, 2014 pág. 199)



Tabla N° 1 Instrumentos de recolección de datos

Objetivo Específico	Fuente	Técnica	Herramienta	Logro
Conocer el porcentaje de capacitación.	Personal Técnico de Mantenimiento.	Registro de datos.	Ficha de registro	Capacitación del personal.
Conocer el cumplimiento de capacitación.	Temas de capacitación	Registro de datos.	Ficha de registro	Se cumplió con la capacitación
Evaluación de equipos	Equipos rotativos del proceso de Galvanizado	Ficha de evaluación de equipos	Ficha de registro	Identificación de los equipos rotativos críticos
Elaboración del programa de monitoreo de equipos	Supervisor y técnicos de Mantenimiento.	Frecuencia de monitoreo	Ficha de registro	Establecer frecuencias de monitoreo
Elaboración del plan de mantenimiento predictivo	Supervisor y técnicos de Mantenimiento.	Historial de monitoreo	Ficha de registro	Cumplimiento del plan

Fuente: Elaboración propia

Los instrumentos empleados en la implementación fueron el registro de los equipos rotativos para el análisis, los instrumentos empleados para la recolección de datos, así como las Fichas de registro de monitoreo de vibraciones, programa anual para mediciones de vibración, se utilizó una tabla de evaluación de equipos críticos, ficha de registro de capacitación del personal, registro de fallas, tabla de severidad de vibraciones ISO 10816

### 2.4.3 Validez y Confiabilidad

#### 2.4.3.1 Validez

(Hernández, y otros, 2010. pág. 200). Define: la validez se refiere de manera directa al grado en que un instrumento mide realmente la variable que permite medir.

La validez se realizó a través de la técnica de criterio de jueces, el juicio de expertos se define como una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos calificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones. La identificación de las

personas que formarán parte del juicio de expertos es una parte crítica en este proceso, frente a lo cual Skjong y Wentworht (2000) proponen los siguientes criterios de selección: (a) Experiencia en la realización de juicios y toma de decisiones basada en evidencia o experticia (grados, investigaciones, publicaciones, posición, experiencia y premios entre otras), (b) reputación en la comunidad, (c) disponibilidad y motivación para participar, y (d) imparcialidad y cualidades inherentes como confianza en sí mismo y adaptabilidad (Escobar y Cuervo, 2008).

## **2.5. Métodos de análisis de datos**

Para el presente proyecto de investigación se hará uso del software estadístico SPSS 22 y Microsoft Excel 2016, el cual nos permitirá procesar los datos ingresados, para luego obtener tablas de distribución de frecuencias, gráficos estadísticos y otros resultados que nos servirán para ser analizados y llegar a una conclusión.

### **2.5.1 Análisis descriptivo**

Este análisis nos describe el comportamiento de una variable en una población o subpoblación y se limita a la estadística descriptiva (media, varianza, moda, etc.)

### **2.5.2 Análisis Inferencial**

Hernández, Fernández y Baptista (2014), explica que la estadística inferencial es para probar las hipótesis y estimar los parámetros (p.229).

Para probar las hipótesis planteadas se hará uso de la prueba paramétrica t-student y no paramétrica Wilcoxon.

## **2.6. Aspectos éticos**

El investigador se compromete a respetar la veracidad de los resultados, la confiabilidad de los datos suministrados por la empresa y la identidad de los individuos que participan en el estudio.

El investigador no puede fabricar los datos de estudio para obtener los resultados esperados.

## **2.7. Desarrollo de la propuesta**

### **2.7.1 Situación actual**

Empresa metalmecánica ubicada en Lima, dedica su actividad comercial en soluciones de alambre de acero, empleando a cerca de 600 personas y atiende los mercados nacionales y de exportación a más de 20 países, atiende a sectores, como el de Construcción, Agricultura, Minería, Infraestructura e Industrial, con una amplia gama de productos, tales como gaviones, mallas, alambre de púas, clavos y alambre galvanizado, siendo uno de los grandes mercados el exterior y teniendo posesión del 60% en el mercado nacional.

#### **Misión**

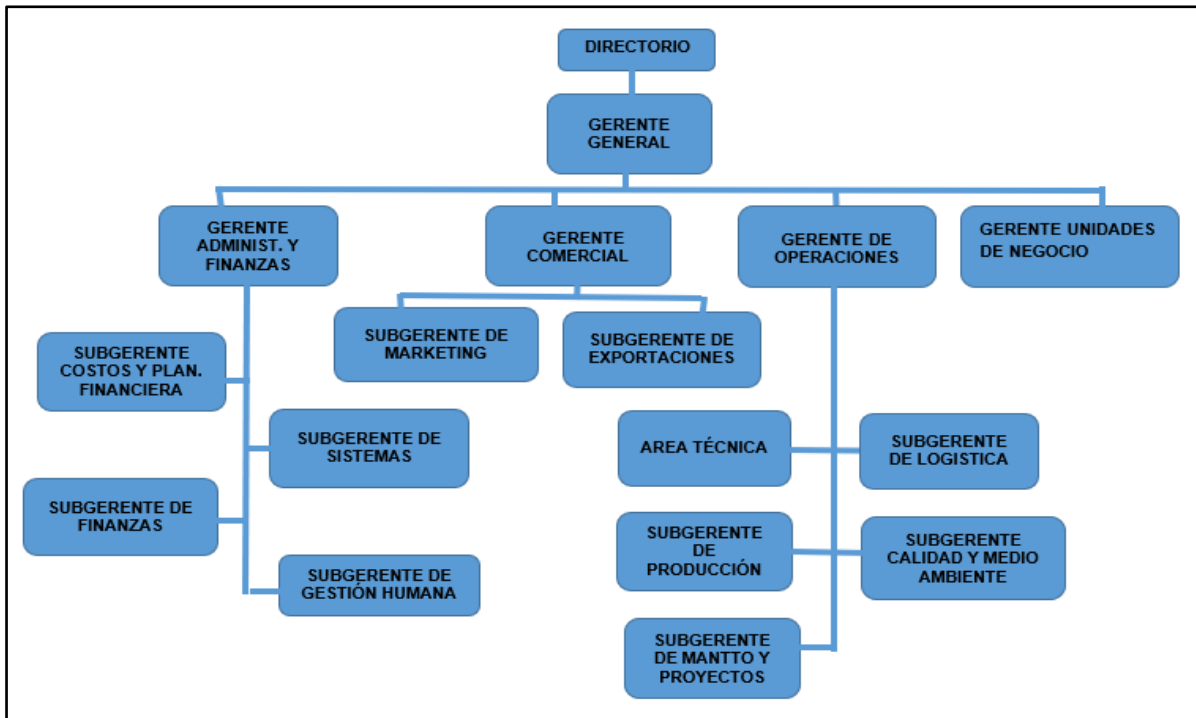
Somos una empresa que buscar satisfacer de manera constante las necesidades de nuestros clientes en el negocio de productos recubiertos galvanizados y relacionados en el negocio.

#### **Visión**

Somos una empresa que buscar posicionarse en el mercado nacional y extender sus operaciones a mercados internacionales.

La empresa está comprometida con el medio ambiente, la calidad de sus productos, la seguridad laboral y la salud ocupacional teniendo como pilar principal a sus colaboradores.

*Figura N° 5 Organigrama de la Empresa*



Fuente: Elaboración propia

## Proceso de Galvanizado en Caliente

El proceso que se realiza en la empresa es de tipo Galvanizado en Caliente, conocido como recubrimiento térmico, el cual se realiza al sumergir el alambre en zinc fundido con el objetivo de ofrecer una capa anticorrosiva y aumentar su vida útil, el zinc no solo se deposita sobre la superficie del alambre, sino que forma una aleación zinc hierro de gran resistencia a los distintos agentes de corrosión del ambiente.

Materia prima: Para el proceso de galvanizado se utiliza alambre trefilado y embobinado.

Tratamiento térmico: pasando por unas tinas de plomo fundido sirve para dar propiedades al alambre (suavidad, tenacidad,), disminuir tensiones internas del alambre que son producidas por el proceso de trefilado, limpiar residuos de trefilado.

Tina de enfrió: Enfriamiento del alambre después del tratamiento térmico.

Decapado en línea: Consiste en la limpieza química del alambre con ácido clorhídrico.

Enjuagar: Se lava el alambre del ácido residual porque se forma muy rápido nueva oxidación.

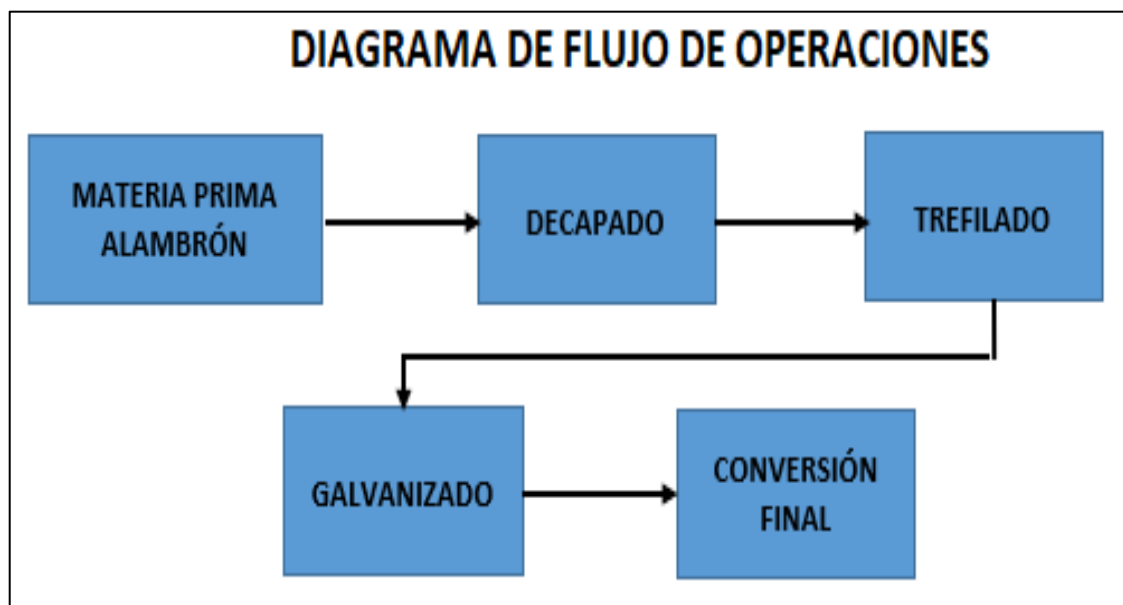
Fluxado: El alambre pasa por la tina de zinc para generar un recubrimiento necesario para la adherencia de la capa de zinc.

Zincado: Galvanizado en caliente, el alambre atraviesa por un baño de zinc fundido a una determinada velocidad.

Enfriamiento: Es muy importante el enfriar la hebra lo más pronto posible, de ello dependerá el brillo de la capa de zinc en el alambre.

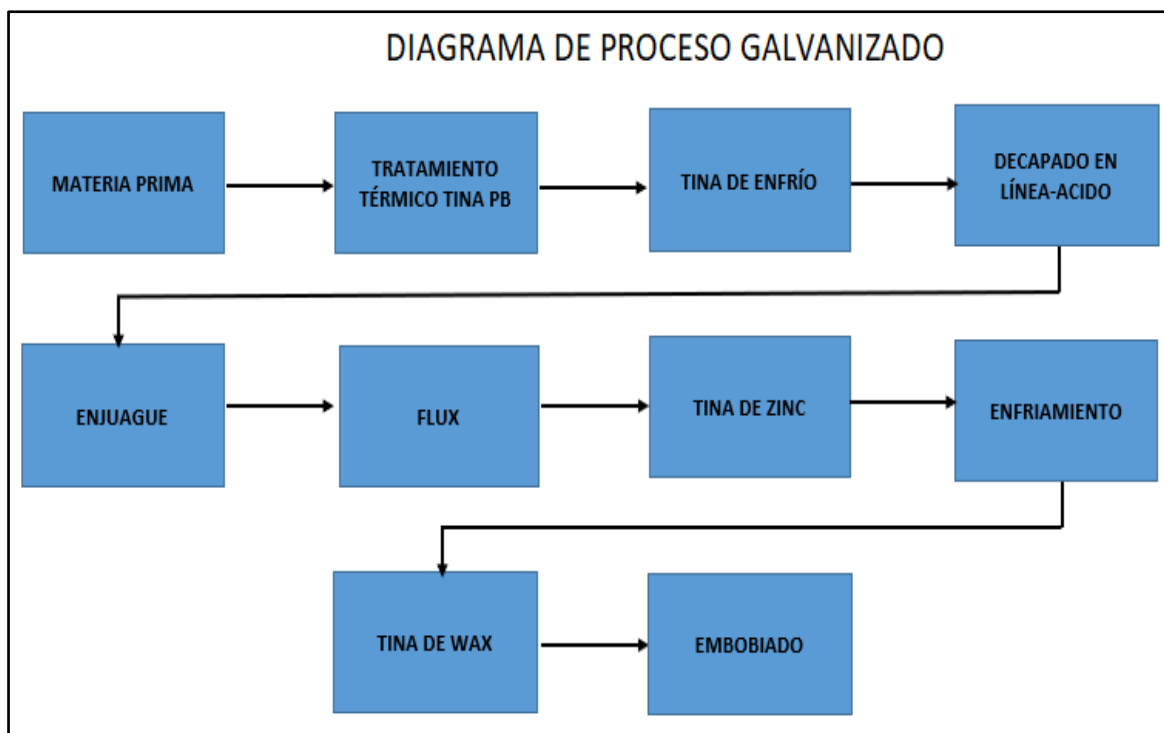
Recubrimiento: mediante un aditivo para proteger la superficie del alambre contra la corrosión del ambiente.

Figura N° 6. Diagrama de Flujo de operaciones de la empresa.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7. Diagrama de proceso de galvanizado.



Fuente: Elaboración propia

### 2.7.1.1 Situación Problemática

El área de galvanizado es una de las líneas de producción continua, el alambre galvanizado sale en su gran mayoría como producto intermedio para abastecer a otras áreas para la conversión en producto final como lo es en mallas electrosoldadas, gaviones, alambres de púas, mallas ganaderas, etc.

Las paradas imprevistas del proceso productivo de la línea de galvanizado por las fallas en los equipos rotativos afectan la calidad del producto el cumplimiento a nuestros clientes internos como externos,

El gasto excesivo por aplicar el mantenimiento preventivo sin un análisis en el cambio de repuestos y componentes que son reemplazados sin haber cumplido su vida útil con el objetivo de “garantizar” la operación de los equipos.

Además, la penalidad por incumplimiento en la entrega de productos afecta a la imagen de la empresa e incide en la confianza de los clientes. Asimismo, se requiere la capacitación y reforzamiento de los técnicos para mejorar la calidad en los trabajos de mantenimiento.

En los equipos rotativos del área de Galvanizado, se viene realizando normalmente 2 tipos de mantenimiento: el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

El Mantenimiento Correctivo, es la reparación no planificada que resulta debido a la falla imprevista y que se debe hacer de forma forzosa para la recuperación inmediata del proceso productivo. Los costos y los tiempos de reparación cuando ocurre un fallo son siempre altos, porque implican parada del proceso, mano de obra, repuestos, compras de emergencia o mantener repuestos en stock en almacén que es dinero que no genera utilidad.

La falta de recursos es muy común en este tipo de mantenimiento como es: la mano de obra, repuestos y la falta de seguridad cuando se presentan las fallas en el segundo y tercer turno.

El Mantenimiento Preventivo: este tipo de mantenimiento se realiza mediante un programa para la sustitución de los elementos de las máquinas de manera periódica en un tiempo determinado por el área de mantenimiento en este caso se cree conveniente cada 6 meses, esto constituye que el cambio de componentes se realiza antes de llegar al fin de su vida útil, el periodo o frecuencia de cambio de componentes se basa en estimaciones de la duración de los componentes según el tiempo y la experiencia de mantenimiento. Cuando se sustituyen piezas por estos criterios se programan trabajos inútiles para reparación de máquinas que están en perfecto estado y poniendo en riesgo al intervenir máquinas solo porque según el programa del mantenimiento preventivo les toca.

Este mantenimiento es extremadamente caro porque se sustituyen componentes en buenas condiciones y la mano de obra que se emplea en estas intervenciones es innecesaria.

### **Cambio de repuestos periódicamente cada 6 meses de los Equipos Rotativos.**

El cambio de repuestos se realiza cada 6 meses en paradas programadas de la línea de galvanizado, el cambio es preventivo aprovechando la parada de la línea para trabajos de limpieza del proceso, los componentes que se cambian son rodamientos, fajas, soportes de pie, manguitos de fijación y finalmente se realiza un balanceo dinámico por una empresa externa, en las intervenciones a los equipos rotativos se pueden encontrar los componentes en buen estado pero igual porque se prefiere garantizar que el equipo no falle, esto conlleva a realizar un gasto inapropiado de repuestos, mano de obra y tiempo .

Es muy importante que se le realice un balanceo dinámico después del cambio de rodamientos para garantizar la estabilidad del equipo con respecto a las vibraciones.

#### **2.7.2. Propuesta de Mejora**

Para evitar alguna parada imprevista de algún equipo rotativo de la línea de galvanizado que afecten el proceso productivo, así como evitar el cambio desmedido de repuestos de estos equipos en los mantenimientos preventivos que demandan un alto costo, se propone implementar la técnica del mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones porque nos permite diagnosticar el estado de las máquinas y sus componentes sin necesidad de parar el proceso o algún equipo.

El mantenimiento predictivo aplica técnicas no destructivas siendo el análisis de vibraciones una de las técnicas más usadas en las máquinas rotativas que sirve para conocer el estado de las máquinas y sus componentes con el propósito de programar las actividades de mantenimiento que se requieran para corregir



cualquier desviación que se haya detectado y que el equipo sea confiable sin afectar el proceso productivo.

Paradas imprevistas por fallas en los equipos sin analizar sus causas, para todo ello es necesario estudiar las acciones a realizar para solucionarlo, buscar el momento adecuado para su intervención, intentando que esta sea lo más eficiente posible y que la reparación se realice de la forma adecuada técnicamente con el tiempo prudencial garantizando que el equipo funcione sin averías en un tiempo determinado.

Se debe programar una parada de planta o cuando la carga de trabajo sea menor para corregir los defectos que se hayan diagnosticado con el análisis de vibraciones. La experiencia, el sentido común y el conocimiento de cada máquina son puntos esenciales para el análisis de vibraciones, las buenas prácticas de lubricación y montaje son el complemento que ayudan a mejorar la confiabilidad.

El compromiso de los supervisores y los técnicos de mantenimiento son esenciales para desarrollar el mantenimiento predictivo así lograr la calidad de las tareas de mantenimiento para garantizar la efectividad y calidad de las reparaciones realizadas.

Un programa de monitoreo se puede iniciar con una frecuencia semanal y conforme se vayan corrigiendo las anomalías en los equipos se puede ir prolongando la frecuencia de monitoreo.

Uno de los principales elementos en los equipos rotativos que reflejan una eventual falla son los rodamientos, es por eso por lo que se mide las condiciones del rodamiento y las medidas deben tomarse lo más cerca posible del rodamiento como sea posible en dirección horizontal, vertical y axial para detectar los desequilibrios, desalineamientos, solturas que puedan presentar los equipos rotativos.

## Ventajas del mantenimiento predictivo

- Se evitan las paradas no planificadas por avería.
- Se minimizan los tiempos de reparación.
- Aumenta la disponibilidad de la planta.
- Se evitan las pérdidas de producto por paros en el proceso.
- Los componentes se sustituyen cuando comienzan a dañarse.
- Se minimiza el stock de repuestos, porque se puede programar la intervención
- del equipo o máquina para el mantenimiento.
- No hay retrasos en las entregas por lo tanto se impiden las penalizaciones.
- Se evitan las averías catastróficas, aumenta la seguridad de la planta.
- Aumenta la confiabilidad de la planta.

Se plantea desarrollar la implementación en el área de Galvanizado en un periodo de 30 semanas incluyendo el monitoreo de los equipos, para asegurar el cumplimiento se deben ejecutar la siguiente secuencia de actividades:

- Catastro de equipos
- Determinar la criticidad de equipos
- Definir compra de equipo de monitoreo
- Capacitación mantenimiento predictivo
- Capacitación en instrumento de monitoreo
- Elaborar ficha de registro de monitoreo
- Elaborar plan de frecuencia de monitoreo
- Monitoreo de equipos y registro de datos.

Realizar procedimiento de trabajo para mejorar la calidad de las tareas de mantenimiento y control de calidad de repuestos fabricados a nivel local para garantizar una mayor vida útil de los componentes.

Por las razones anteriormente mencionadas se tiene la necesidad de diseñar e implementar un plan de mantenimiento que sea adecuado a sus equipos, herramientas y procesos, permitiéndole mantener su maquinaria en un estado óptimo para sus procesos de producción, consiguiendo así, satisfacer de una manera eficaz y eficiente su demanda de producción y asegurando un mayor control en sus procesos.

En la Tabla N° 2 se muestra el presupuesto presentado para la implementación del mantenimiento predictivo, se está considerando un equipo base colector de datos para el monitoreo de los equipos rotativos.

Tabla N° 2 Presupuesto de Implementación

<b>PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>UM</b>	<b>VALOR UNITARIO S/.</b>	<b>VALOR TOTAL S/.</b>
1	Colector de vibración Viber A	1	unid.	6600	S/6,600
2	Termómetro infrarrojo industrial Fluke 568	1	unid.	1000	S/1,000
3	Capacitación externa	2	unid.	1500	S/3,000

	Mantenimiento predictivo (02 técnicos)				
4	Capacitación interna e implementación	400	horas	8.5	S/3,400
5	Útiles de oficina	1	unid.	300	S/300.00
<b>TOTAL, EN SOLES</b>					<b>S/14,300</b>
<b>TOTAL, EN DOLARES (T.C. 3.34 soles)</b>					<b>\$ 4,281.00</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°3 se muestra las actividades para el diagrama de Gantt (Anexo 12 ) para la implementación, se puede observar que el catastro de equipos se realizó en un periodo de 2 semanas teniendo en cuenta la carga de trabajo del personal técnico de mantenimiento, paralelamente en el transcurso de la segunda semana se determinó la criticidad de los equipos que deben ser monitoreados y también definir la compra del instrumento de recolección de datos.

Desde la primera semana el personal técnico fue capacitado en las técnicas de mantenimiento predictivo y en especial en el análisis de vibraciones. En la semana cinco el personal técnico fue instruido en el uso y aplicación del nuevo equipo de medición y también se elaboró la ficha para el registro del monitoreo, en la sexta semana elaboró el plan de monitoreo de equipos y en la semana siete se empieza con el monitoreo de equipos hasta la semana 30 donde se obtuvo un historial del diagnóstico de los equipos rotativos.

Tabla N° 3 Actividades Diagrama de Gantt.

ACTIVIDAD		PLAN POR NÚMERO DE SEMANAS				PORCENTAJE COMPLETADO
		INICIO DEL PLAN	DURACIÓN DEL PLAN	INICIO REAL	DURACIÓN REAL	
A	Catastro de equipos	1	2	1	2	100%

B	Determinar la criticidad de equipos	2	1	2	1	100%
C	Definir y compra de equipo de monitoreo	2	4	2	4	100%
D	Capacitación en mantenimiento predictivo	1	4	1	4	100%
E	Capacitación en instrumento de monitoreo	5	3	5	3	100%
F	Elaborar ficha de registro de monitoreo	5	1	5	1	100%
G	Elaborar plan de frecuencia de monitoreo	5	2	5	2	100%
H	Monitoreo de equipos y registro de datos	7	24	7	24	100%

Fuente: Elaboración propia

### 2.7.3. Implementación de la Propuesta

Para la implementación del mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones se desarrolló conforme se planteó en el diagrama de Gantt.

#### 2.7.3.1. Catastro de equipos.

Se realizó el levantamiento de información de los equipos rotativos, se listó e identificó en total 15 equipos rotativos, estos datos consistieron en potencia de motor, marca, velocidad, tipo de transmisión directa o por fajas. En la tabla N° 4

Tabla N° 4 Total de Equipos para evaluación de criticidad:(15)

Item	EQUIPO ROTATIVO	Potencia	Velocidad (Rpm)
1	Ventilador de combustión PB1	5,5Kw(7,5HP) BALDOR	3525
2	Ventilador de combustión PB2	3,7Kw(5,0HP) BALDOR	3500
3	Ventilador de Combustión 1 Tina de zn	7.5 Kw (10 HP) BALDOR	3525 rpm
4	Ventilador de Combustión 1 Tina Zn/Al	7.5 Kw (10 HP) BALDOR	3525 rpm
5	Extractor Lavador de gases Nº1 Scrubber	13 kw (17 HP) Ac-Motoren	1752rpm
6	Extractor Lavador de gases Nº2 Scrubber	13 kw (17 HP) Ac-Motoren	1752rpm
7	Extractor Gotas / Tina de Zinc	11Kw(15HP) WEG	3525 rpm
8	Ventilador Cuchillo de aire Tn de Zinc	11Kw(15HP) SIEMENS	3500 rpm
9	Extractor Gotas Tina Zn-Al	15KW(20HP) WEG	3535 Rpm
10	Ventilador Cuchillo de Aire Zn/Al	5,5Kw(7,5HP) WEG	3,500 Rpm
11	Wiper acido	3,7KW(5,0HP) WEG	3485 Rpm
12	Wiper enjuague	3,7KW(5,0HP) WEG	3485 Rpm
13	Wiper flux	3,7KW(5,0HP) WEG	3486 Rpm
14	Wiper Enfrio(Zn/Al)	3,7KW(5,0HP) WEG	3485 Rpm
15	Wiper Wax (Zn/Al)	3,7KW(5,0HP) WEG	3486 Rpm

Fuente: Elaboración propia

### 2.7.3.2. Establecer los equipos críticos.

Se realizó una evaluación mediante una ficha de criticidad para determinar los equipos que mayor impactan en el proceso productivo y a los cuales se les hará el monitoreo. De los 15 equipos rotativos del área de galvanizado se consideraron 10 equipos críticos. (Tabla 5). (ANEXO 7. Tabla de Evaluación de Equipo – Criticidad)

Tabla N° 5 Total de Equipos Críticos:(10)

Item	EQUIPO ROTATIVO	Potencia	Velocidad (Rpm)
1	Ventilador de Combustión 1 Tina de zn	7.5 Kw (10 HP) BALDOR	3525 rpm
2	Ventilador de Combustión 1 Tina Zn/Al	7.5 Kw (10 HP) BALDOR	3525 rpm
3	Extractor Lavador de gases Nº1 Scrubber	13 kw (17 HP) Ac-Motoren	1752rpm
4	Extractor Lavador de gases Nº1 Scrubber	13 kw (17 HP) Ac-Motoren	1752rpm
5	Extractor Gotas / Tina de Zinc	11Kw(15HP) WEG	3525 rpm
6	Extractor Gotas Tina Zin/Al	15KW(20HP) WEG	3535 Rpm
7	Wiper acido	3,7KW(5,0HP) WEG	3485 Rpm
8	Wiper enjuague	3,7KW(5,0HP) WEG	3485 Rpm
9	Wiper flux	3,7KW(5,0HP) WEG	3486 Rpm
10	Wiper Enfrio (Zn/Al)	3,7KW(5,0HP) WEG	3485 Rpm

Fuente: Elaboración propia

:

### 2.7.3.3 Adquisición de Instrumentos de medición,

Se evaluó la compra de un equipo de monitoreo de vibraciones y un termómetro infrarrojo digital., se adquirió un instrumento básico conocido como colector de datos El VIBER-A es un vibrómetro de banda ancha totalmente portátil utilizado en el mantenimiento especialmente en maquinaria rotativa, El equipo Viber consta de un instrumento, un vibrador transductor que viene con un soporte de imán y una extensión en punta. VIBER-A es la medición de la velocidad efectiva (mm / s RMS) en el rango de frecuencias entre 10 y 3.200 Hz. Esta gama de instrumentos cubre la mayor parte de las frecuencias que son producidas para la mayoría de los fallos de funcionamiento mecánicos e imperfecciones. Generalmente son los desequilibrios, desalineación de ejes y engranajes, cavitación en impulsores y alojamientos, así como otras vibraciones comunes.

El juicio de los niveles medidos se apoya en gran medida por varios estándares de vibración. La estrecha comparación entre la vibración y los niveles de desgaste real que se realiza en la maquinaria serán rápidamente construir un conocimiento local. La experiencia se debe utilizar para optimizar el tipo de acción necesaria cuando las vibraciones son más altos

Figura N° 8 Instrumento para medir vibraciones



Fuente: Manual Viber - A



### **Termómetro infrarrojo digital**

La importancia para medir la temperatura en varias partes del equipo especialmente en zona de rodamientos y con el equipo en movimiento nos ayuda a conocer la temperatura de trabajo y poder detectar algún sobrecalentamiento debido a montaje incorrecto, falta o exceso de lubricante, montaje inadecuado de los sellos que provocan roces excesivos. La medición a distancia y sin ningún contacto nos ayuda a prevenir riesgos de accidentes. (Fig. 9)

Figura N° 9. Termómetro infrarrojo



Fuente: Manual termómetro Fluke

#### **2.7.3.4 Capacitación.**

Selección de técnicos de mantenimiento para llevar el curso de Técnicas del Mantenimiento Predictivo en una institución de prestigio. La capacitación abarca conceptos fundamentales de Tecnologías de Mantenimiento Predictivo, falla potencial y funcional y su aplicación en la frecuencia de monitoreo, actividades basadas en condición, beneficios y aplicaciones. Se darán a conocer las tecnologías predictivas aplicadas a equipos rotativos, análisis de vibraciones para

determinar la condición de la maquinaria industrial. ( ANEXO 5. Indicador de **capacitación** )

### **Objetivos del curso**

Comprender porqué fallan los equipos rotativos y las partes fundamentales donde se desarrollan estos problemas.

Determinar la frecuencia adecuada de monitoreo de condición de los equipos.

Conocer la variedad de técnicas que se emplean en el Mantto. Predictivo

Adquirir la habilidad en el manejo de la técnica de monitoreo de condición.

### **Manejo y uso del instrumento.**

Por medio de la empresa proveedora se capacitó a los técnicos responsables del área de galvanizado para la toma de datos con el equipo de medición de vibraciones.

El discernimiento de los niveles medidos se apoya en gran medida por varios estándares de vibración. La estrecha comparación entre la vibración y los niveles de desgaste real que se realiza en la maquinaria serán rápidamente construir un conocimiento local. La experiencia se debe utilizar para optimizar el tipo de acción necesaria cuando las vibraciones son más altos

Una norma común para el juicio de las vibraciones es la norma ISO 10816-3, esta es estándar siendo una actualización de las normas más antiguas que ha estado en uso durante varias décadas y tiene una amplia aceptación mundial como un buen juicio para la operación continua duradera y largo de la maquinaria. debe estar bien respaldada por la experiencia práctica.

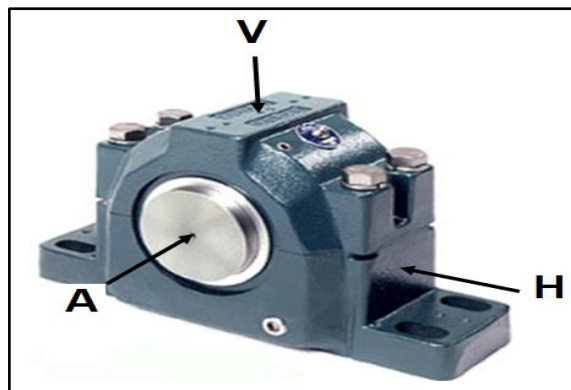
Esta norma es una actualización de las normas más antiguas que ha estado en uso desde hace varias décadas y tiene una amplia aceptación mundial como un buen criterio para la operación continua y duradera de la maquinaria. Bajo la experiencia conocer los diferentes modos de fallas, analizar sus causas y efectos negativos que afectan a los equipos rotativos y el proceso productivo, conocer las

ventajas y limitaciones de las técnicas predictivas, en especial el análisis de vibraciones.

- **Situación del punto de medición.**

Las medidas deben tomarse lo más cerca posible del rodamiento como sea posible y sólo en dirección horizontal, vertical y axial.

Figura N° 10. Puntos de medición en soporte de rodamientos.

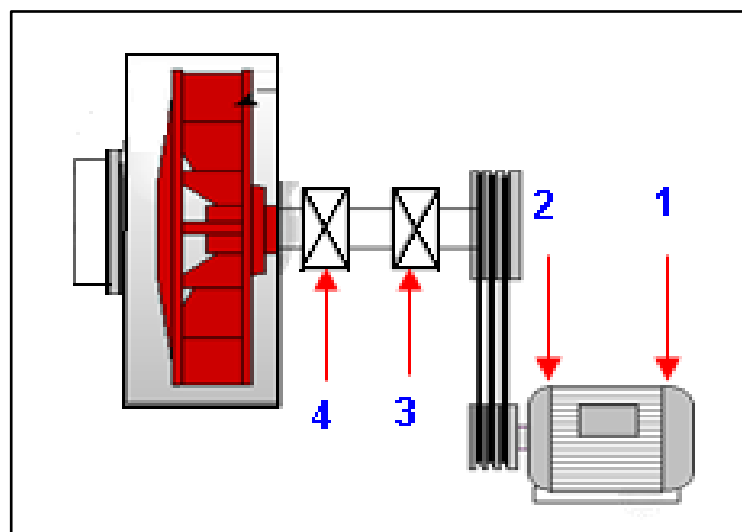


Fuente: Elaboración propia

- **Puntos de medición en un equipo de transmisión por fajas.**

En la figura 15, se muestra los puntos para la medición de vibraciones donde se encuentran los rodamientos.

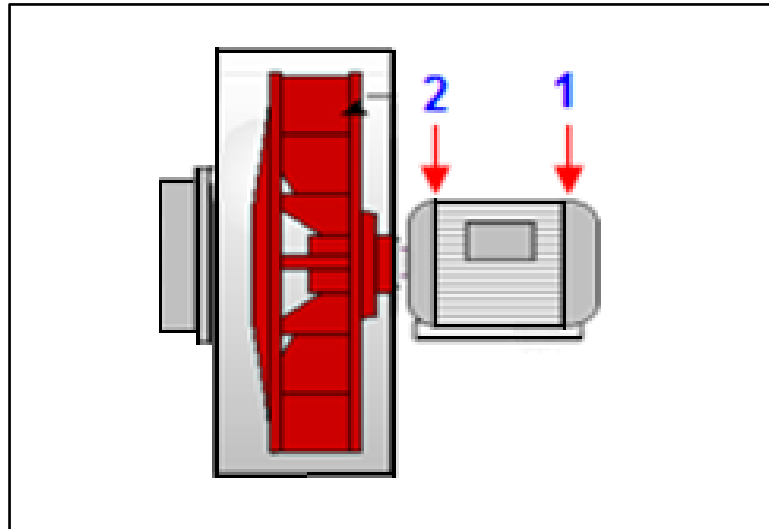
Figura N° 11. Puntos de medición de equipo transmisión por fajas.



Fuente: Elaboración propia

- **Puntos de medición en un equipo de transmisión directa.**

Figura N° 12. Puntos de medición de equipo transmisión directa



Fuente: Elaboración propia

#### **2.7.3.5. Monitoreo.**

Se elaboró un registro para almacenar los valores recogidos en la medición de vibraciones en la frecuencia establecida. Fue necesario un seguimiento constante y riguroso del nivel de vibraciones de los equipos críticos de la línea de galvanizado para la detección de algunas desviaciones o problemas. (ANEXO 8. *Ficha Registro de Monitoreo de Equipos.*)

Los puntos elegidos para tomar vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar un defecto que afecte el buen funcionamiento de los equipos, son lugares en los que se alojan principalmente los rodamientos de los equipos rotativos, en el formato se incluyó en los puntos a medir registrar los valores de temperatura. (ANEXO 10. Monitoreo de vibraciones de .)

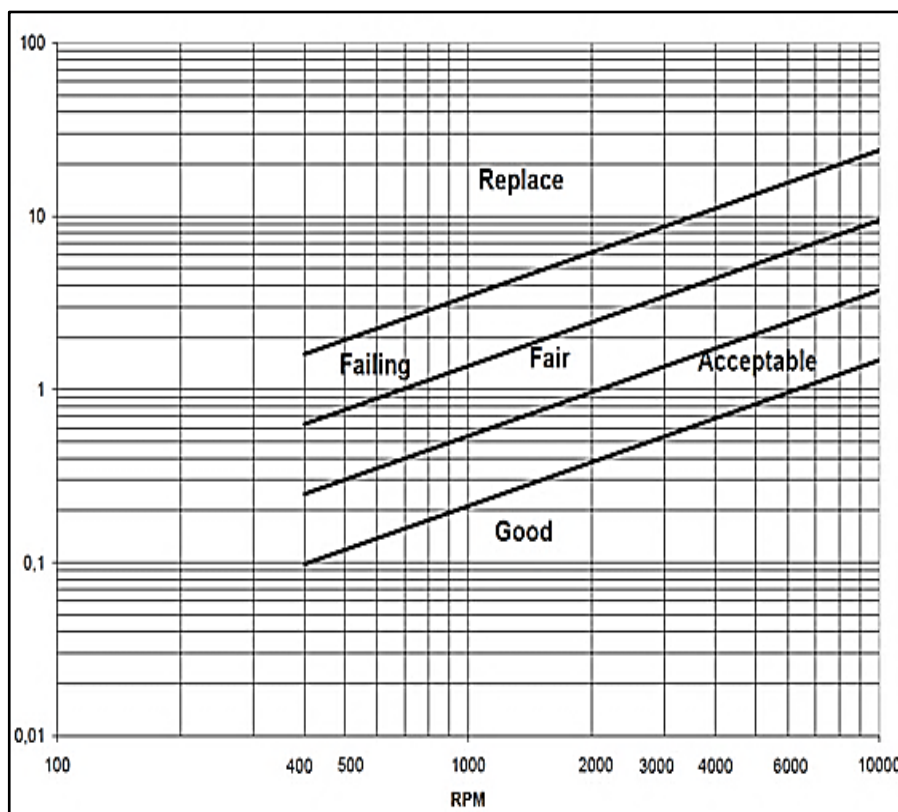
#### **Condiciones del Rodamiento**

El problema de los rodamientos solo se puede detectar en el punto más cercano, por ser un fallo localizado, se mide siempre la aceleración de la vibración (g) que trae el instrumento Viber-A el cual mide instantáneamente un valor de estado de los rodamientos en el rango entre 3.200Hz a 20. 000Hz.El valor de estado de los rodamientos es el valor RMS de todas las vibraciones de alta frecuencia en la gama de 3.200 Hz a 20.000 Hz. Este medio tiene la unidad g (= aceleración de la gravedad).

En el manual del instrumento Viber-A viene un diagrama que es una guía que sirve como ayuda y referencia para interpretar el valor del estado de los rodamientos, si las vibraciones de otras causas (por ejemplo, sobre voltaje, engranes) se encuentran dentro del rango de frecuencia 3200 - 20000 Hz, esto puede dar lugar a un alto valor de condición del rodamiento sin que el rodamiento esté dañado.

También se puede adquirir un alto valor de condición de rodamiento si está poco lubricado o está sobrecargado (por ejemplo, por desalineación o fuerzas de las fajas). ( ANEXO 12. Severidad de Rodamientos.)

Tabla N° 6 . Severidad de los rodamientos



Fuente: Manual viber-A

#### **2.7.3.6. Detección de averías**

Se logró a detectar y diagnosticar las fallas en algunos equipos rotativos antes que estos se produzcan, se programaron los paros en el momento oportuno previa coordinación con el área de producción y realizar las reparaciones sin afectar el proceso productivo.

En la tabla N° 07 que es parte de la ficha registro de monitoreo se puede observar al equipo N° 3 que corresponde al extractor lavador de gases 2 presenta un alto valor en el rodamiento del punto de medición 4, asimismo presenta alta temperatura en los puntos de medición 2,3 y 4 respectivamente.

Asimismo, el equipo N°6 que corresponde al wiper de ácido presentó altas vibraciones en todos los puntos, esto nos dio indicios de solturas, desalineamiento y desbalance del equipo. Estas fallas fueron corregidas antes que afecten el proceso.

*Tabla N° 7 Registro de monitoreo de equipo.*

		N° 3	N° 6
PUNTO DE MEDICIÓN	EQUIPO	Extractor Lavador de gases N°2 Scrubber	Wiper acido
	Potencia	13 kw Ac-Motoren	3,7 KW WEG
	Velocidad (Rpm)	1752rpm	3485 Rpm
1	V	3.2	8.80
	H	3.50	15.00
	A	3.70	22.00
	E(Gs EnV)	0.45	0.22
	Tº	40 °C	30 °C
2	V	4.5	16.00
	H	3.60	20.00
	A	4.80	17.50
	E(Gs EnV)	0.60	0.18
	Tº	52 °C	36 °C
3	V	3.8	57.00
	H	4.90	30.00
	A	15.50	15.80
	E(Gs EnV)	5.00	0.11
	Tº	63 °C	65 °C
4	V	3.9	
	H	4.50	
	A	11.50	
	E(Gs EnV)	2.18	
	Tº	55 °C	

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la figura N° 13 el exceso de lubricación o sobre engrasado en los soportes de rodamientos de uno de los equipos, este exceso hace con la velocidad que el movimiento giratorio del rodamiento bata la grasa haciendo que salga perdiendo potencia y elevando la temperatura. Esto genera una degradación química de la grasa, así como la separación del aceite del espesante.

Para solucionar los ´problemas del sobre engrasado es el establecimiento de un programa de mantenimiento que necesita determinar la frecuencia y la cantidad de grasa que se debe aplicar, al principio se requiere mucho trabajo y tiempo cuyos resultados tiene un gran impacto dentro de la organización.

Figura N° 13 . Exceso de Lubricante



Se muestra e la figura 14 lo que se encontró en uno de los equipos rotativos que tenía alta vibración ocasionando un desbalance por cuerpo extraño que había ingresado entre los alabes y que había sido olvidado en uno de los ductos de succión después de una limpieza, con el monitoreo se pudo determinar la causa de la vibración y se pudo evitar a una falla imprevista, en este caso fueron detectados con anticipación gracias al monitoreo de vibraciones del equipo.

Figura N° 14. Cuerpo extraño en impulsor de ventilador





#### 2.7.4. Resultados después de la mejora (post test)

En la siguiente tabla se muestra los resultados de la disponibilidad promedio mensual de los equipos rotativos, se puede observar la mejora después de aplicado el mantenimiento predictivo. Tabla N° 7

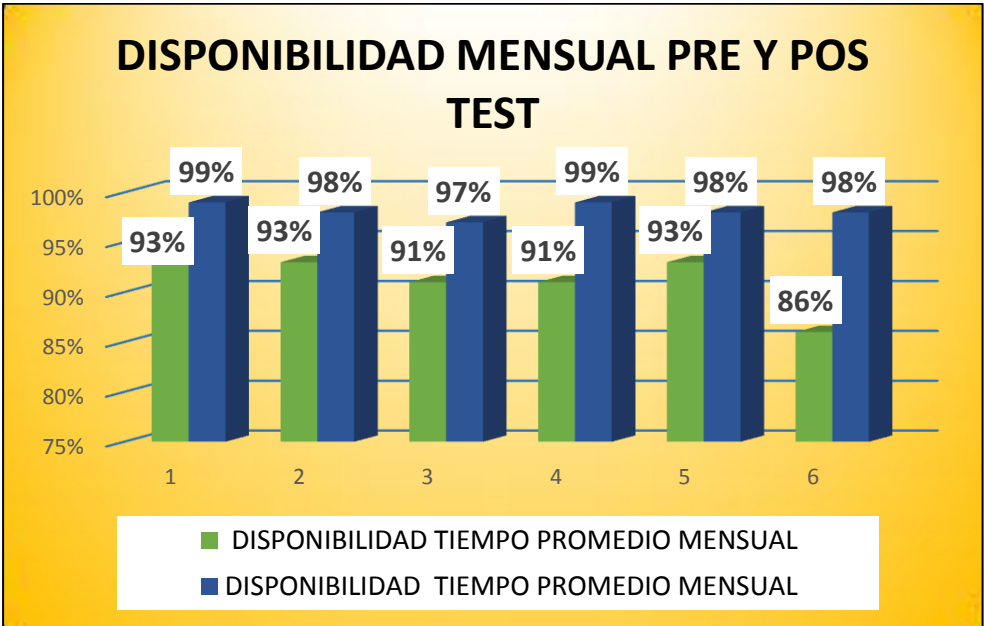
#### Disponibilidad

Tabla N° 8. Disponibilidad pre y post test.

PRE TEST	POS TEST
DISPONIBILIDAD TIEMPO PROMEDIO MENSUAL	DISPONIBILIDAD TIEMPO PROMEDIO MENSUAL
93%	99%
93%	98%
91%	97%
91%	99%
93%	98%
86%	98%

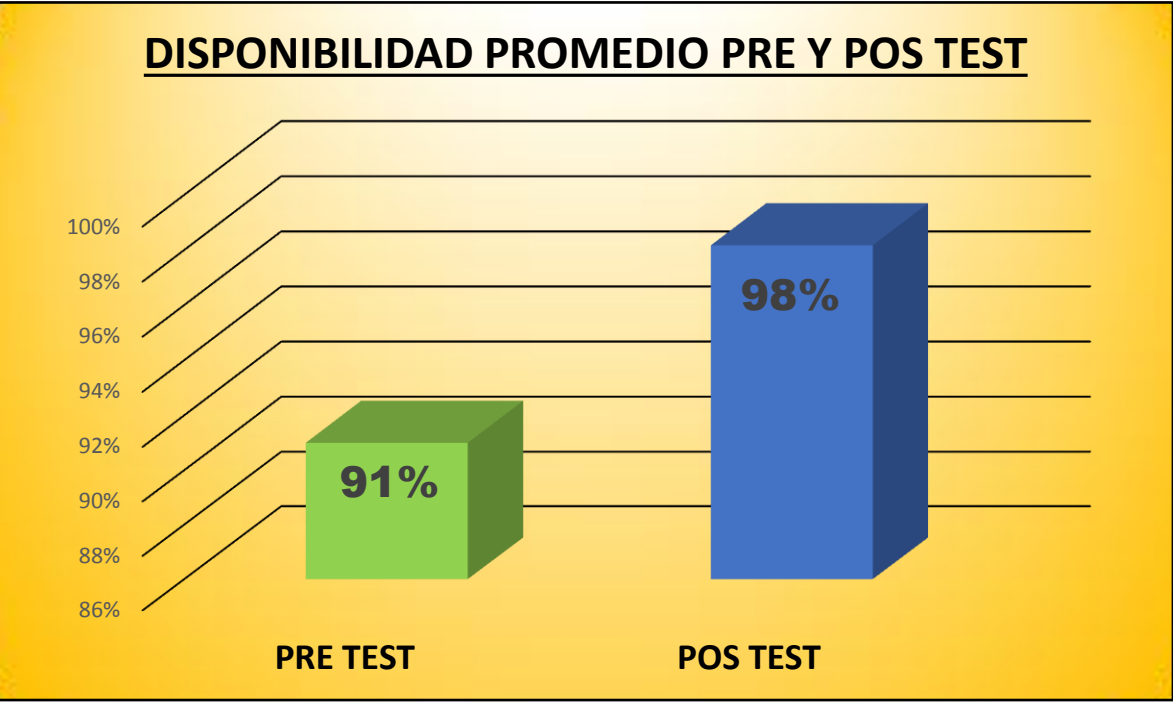
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 15. Gráfico disponibilidad mensual pre y pos test.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 16 Grafico disponibilidad promedio pre y pos test



Fuente: Elaboración propia

### Confiabilidad

En la tabla N° 8 se hace la comparación mensual como mejoró la confiabilidad de los equipos rotativos.

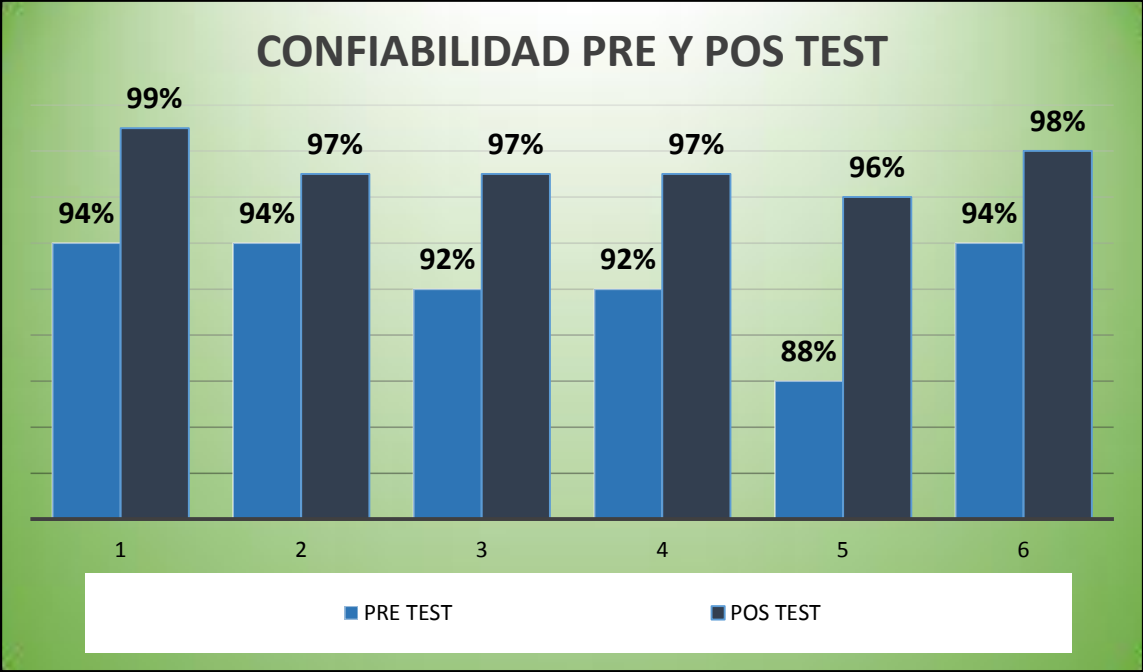
*Tabla N° 9. Confiabilidad mensual pre y post test.*

PRE TEST	POS TEST
CONFIABILIDAD PROMEDIO MENSUAL	CONFIABILIDAD PROMEDIO MENSUAL
94%	99%
94%	97%
92%	97%
92%	97%
88%	96%
94%	98%

Fuente: Elaboración propia

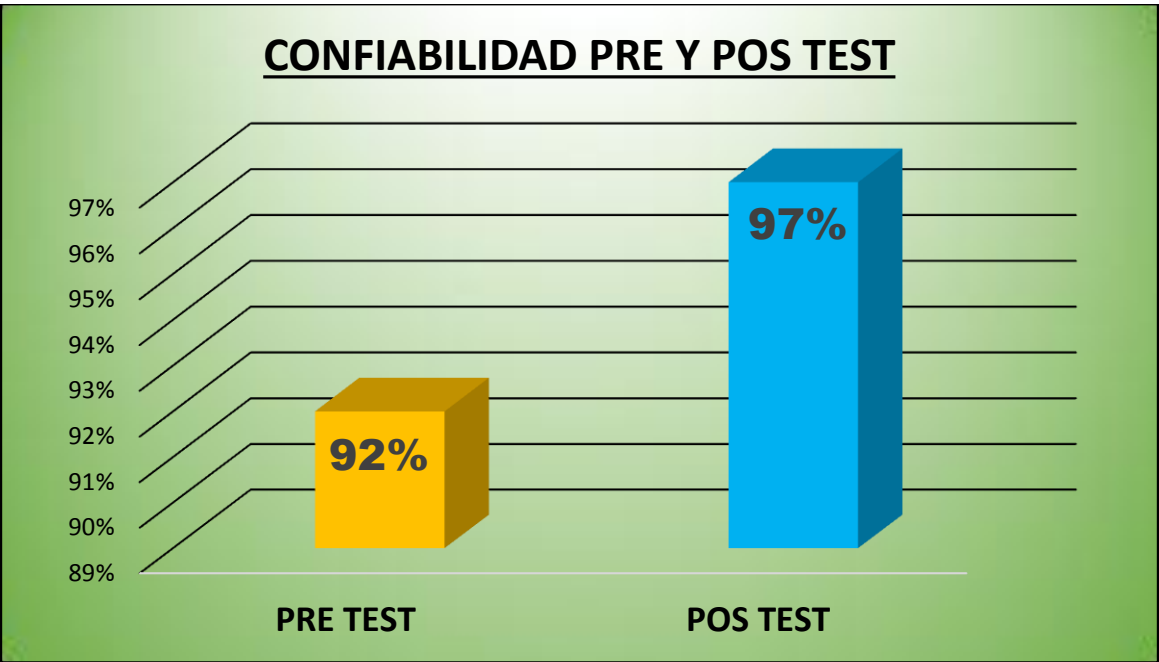
En la figura N° 16. se muestra el gráfico se puede ver la mejora de la confiabilidad después de la implementación del mantenimiento predictivo.

Figura N° 17. Gráfico de Confiabilidad mensual pre y pos test.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 18 Grafico Confiabilidad mensual pre y pos test.



Fuente: Elaboración propia.

El mantenimiento predictivo se implementó teniendo en cuenta la siguiente secuencia: - Detección: Reconocimiento del problema. Análisis: Localización de la causa del problema. - Corrección: Encontrar el momento y forma de solucionar el problema

### 2.7.5 Análisis Costo Beneficio

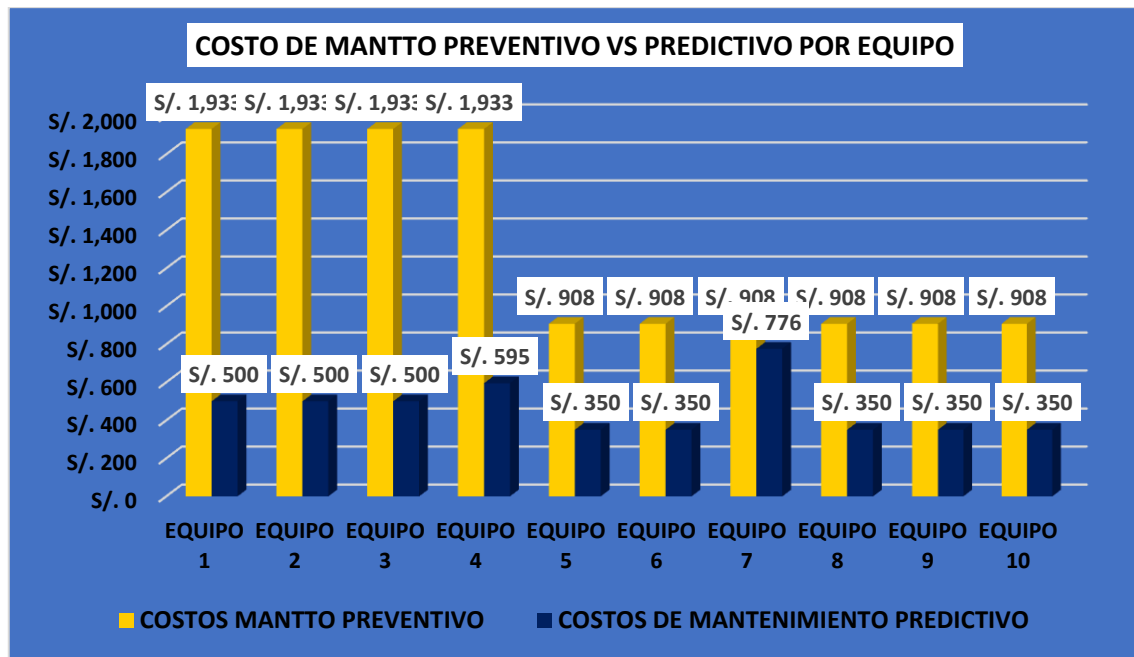
Los costos del mantenimiento predictivo que se viene realizando cada 6 meses son de S/. 13,180, que consiste en cambio de varios repuestos como rodamientos, soportes, fajas y otros componentes, este tipo de mantenimiento es costoso porque el componente en la mayoría no ha cumplido su vida útil, con el mantenimiento predictivo se pudo reducir estos gastos una de las medidas urgentes que se adoptó fue el balanceo para evitar que las vibraciones lleguen a los rodamientos y sean dañados. Se pudo reducir en un 65 % que significa un ahorro de S/. 8,559.

Tabla N° 10 Tabla Costos de mantto Preventivo vs Predictivo

EQUIPO	COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	COSTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
EQUIPO 1	S/. 1,933	S/. 500
EQUIPO 2	S/. 1,933	S/. 500
EQUIPO 3	S/. 1,933	S/. 500
EQUIPO 4	S/. 1,933	S/. 595
EQUIPO 5	S/. 908	S/. 350
EQUIPO 6	S/. 908	S/. 350
EQUIPO 7	S/. 908	S/. 776
EQUIPO 8	S/. 908	S/. 350
EQUIPO 9	S/. 908	S/. 350
EQUIPO 10	S/. 908	S/. 350
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 13,180</b>	<b>S/. 4,621</b>

Fuente: Elaboración propia

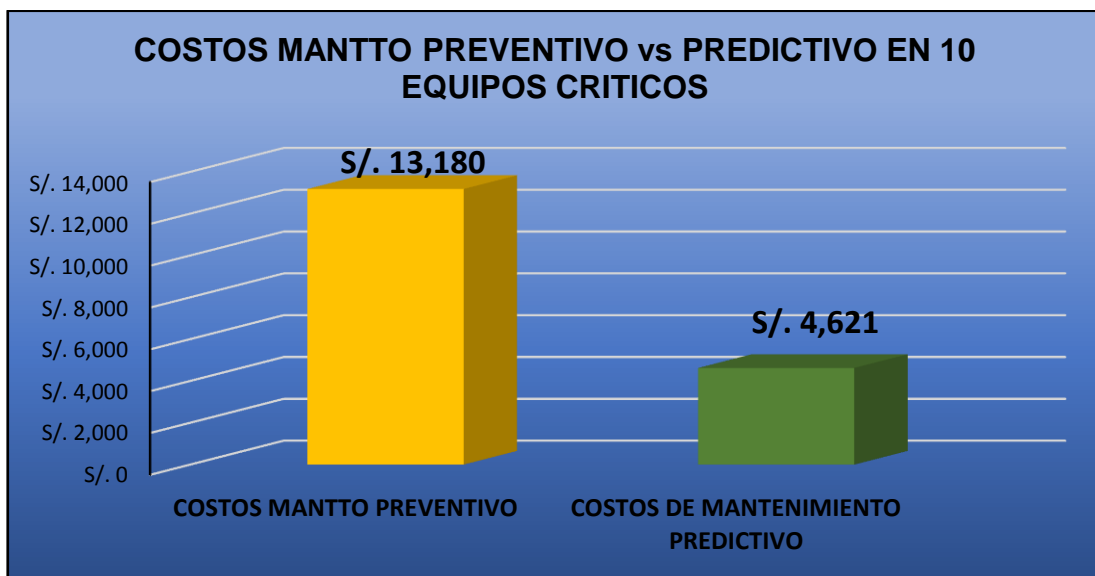
Figura N° 19. Gráfico de Costos preventivo y predictivo



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 18 los costos del mantenimiento predictivo son más bajos que los costos de mantenimiento preventivo que se hacían aprovechando la parada de planta de medio año de la línea de producción y se cambiaban los componentes sin haber cumplido su vida útil, se obtuvo un ahorro de S/. 8,559 que significa un ahorro de 65 %.

Figura N° 20 Gráfico Costos mantto preventivo y predictivo



Fuente: Elaboración propia

Las horas programadas por el área de Planificación y Control de la Producción son 144 horas a la semana y en 6 meses hacen un total de 3456 horas programadas para producir (tabla 7), en este periodo se pudieron registrar un total de 80 horas de paros por fallos , la pérdida estimada es de \$800 dólares por Hora, es decir en este período por las 80 horas hubo una pérdida de producción de \$64,000 dólares .Con la implementación del mantenimiento predictivo se consiguió bajar el número de fallas de 80 a 12 fallas en un periodo de 6 meses, lo que significa una reducción del 85% en fallas.

Tabla N° 11. Programación de Horas PCP

PROGRAMACIÓN: PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN		
<b>Horas semanales</b>	<b>24 h x 6 días</b>	<b>144 horas</b>
<b>Horas en 6 meses</b>	<b>144 h x 24 semanas</b>	<b>3456 horas</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12. Pérdidas por fallas pre test

PRE TEST: 6 MESES			
TOTAL, DE HORAS PROGRAMADAS EN 6 MESES	PERDIDA DE PRODUCCIÓN ESTIMADA POR TM	HORAS PARADAS POR FALLA	TOTAL, DE PÉRDIDAS EN 6 MESES
<b>3456</b>	<b>1 HORA = \$800</b>	<b>80</b>	<b>\$64,000</b>

Fuente: Elaboración propia

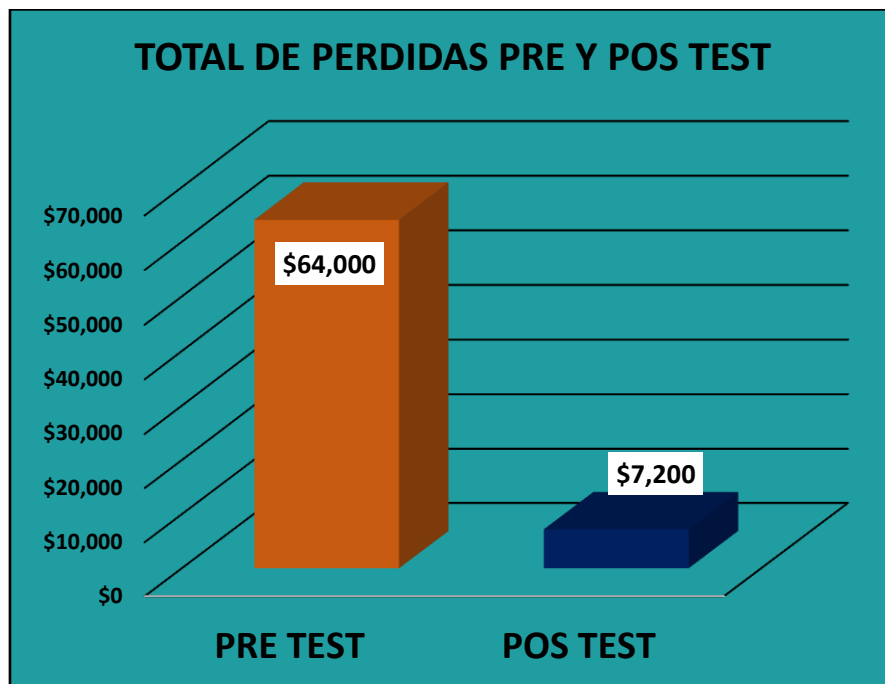
Tabla N° 13 Pérdida por fallas pos test

POS TEST : 6 MESES				
TOTAL HORAS PROGRAMADAS EN 6 MESES	PERDIDA DE PRODUCCIÓN ESTIMADA POR TM		HORAS PARADAS POR FALLA	TOTAL DE PÉRDIDA EN 6 MESES
<b>3456</b>	<b>1 HORA</b>	<b>\$800.00</b>	<b>9</b>	<b>\$7,200</b>

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico (fig.20) se observa que con la implementación del mantenimiento predictivo se redujeron las perdidas significativamente, de \$64,000 a \$7,200 a consecuencia de las horas que se tuvo que parar el proceso, lo que significa un ahorro de 88,75% es decir \$56,800, con la mejora se puede diagnosticar a cualquier equipo cuando se encuentra en estado inicial de falla para programar su intervención y evitar una parada imprevista del proceso productivo.

Figura N° 21. Gráfico de Pérdida por fallas pre y pos test



Fuente: Elaboración propia

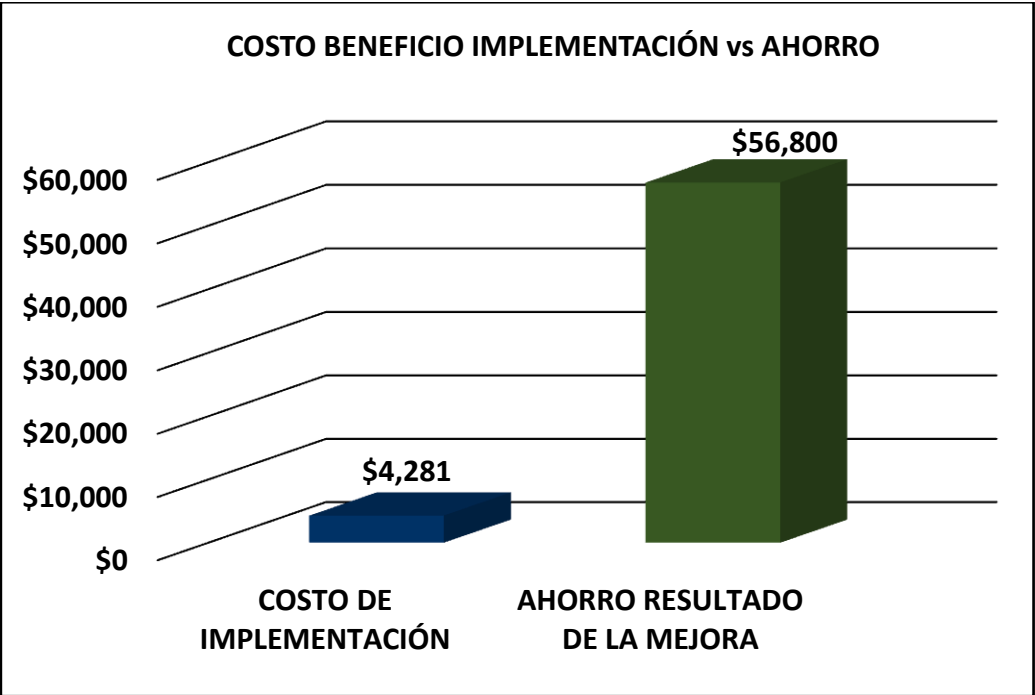
### **Análisis costo beneficio Inversión**

En la figura 21 se observa el monto de inversión de la implementación que fue de \$4,281, esta mejora pudo evitar que los equipos rotativos críticos fallen y por ende el proceso productivo, las fallas potenciales que fueron detectadas con el análisis de vibraciones fueron coordinadas con el área de producción para la intervención de los equipos previa programación con el área de planificación y

control de la producción, estas coordinaciones previenen a producción para mantener stock en sus productos y pueda cumplir con los clientes.

Del ahorro que se deduce de las pérdidas del antes y después de la mejora se pudo ahorrar un total \$ 56,800 si a este monto le restamos la inversión que fue de \$ 4281 tenemos un ahorro \$ 52,519 esto quiere decir que se pudo recuperar el total de la inversión.

Figura N° 22 Resultado Costo beneficio de la Implementación



Fuente: Elaboración propia



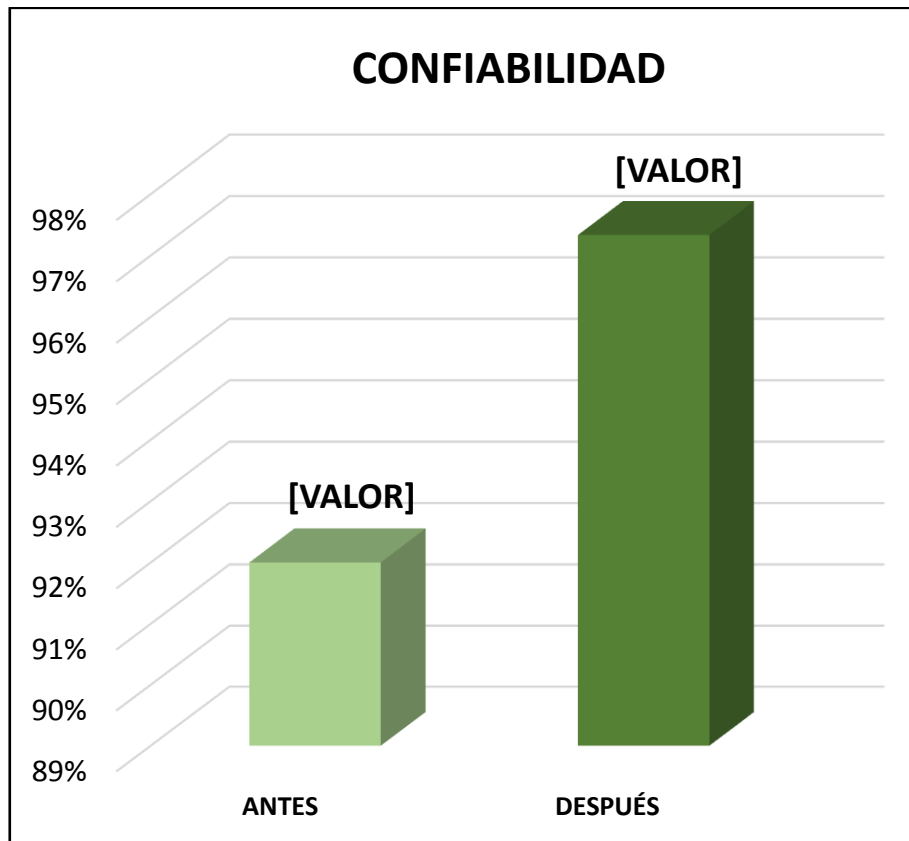
### **III. RESULTADOS**

### 3.1. Análisis descriptivo

#### 3.1.1 Variable Dependiente: Confiabilidad

Se puede observar en el siguiente gráfico que la confiabilidad estuvo en 92% antes de la implementación y con la mejora aumentó a 97 % es decir la confiabilidad de operación de los equipos rotativos aumentó en un 5%.

Figura N° 23 Diferencia de la Confiabilidad antes y después de la mejora.



Fuente : Elaboración propia

En la tabla N° 13 siguiente se observa la relación de la Confiabilidad en la estadística descriptiva, el antes y después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo donde se muestra en el cuadro el aumento de la media después de haber aplicado la mejora

Tabla N° 14 La media de la Confiabilidad antes y después

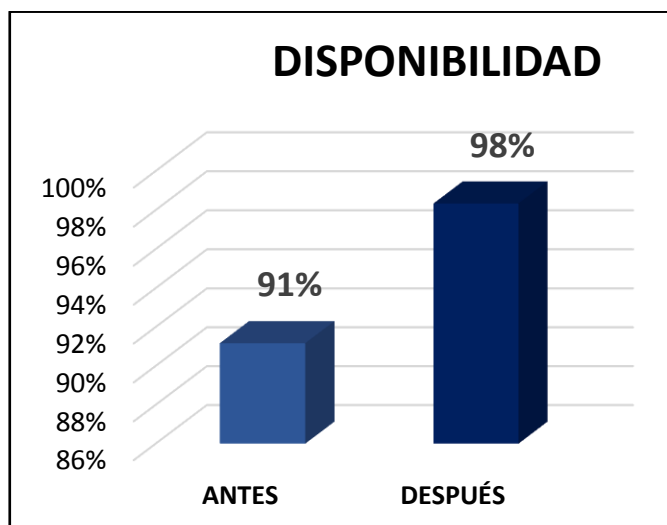
Estadística Descriptiva				
		Estadístico		Error estándar
CONFIABILIDAD ANTES	Media		.9200	.00626
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.9071	
		Límite superior	.9329	
	Media recortada al 5%		.9212	
	Mediana		.9250	
	Varianza		.001	
	Desviación estándar		.03065	
CONFIABILIDAD DESPUES	Media		.9733	.00231
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.9686	
		Límite superior	.9781	
	Media recortada al 5%		.9737	
	Mediana		.9700	
	Varianza		.000	
	Desviación estándar		.01129	

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.2. Dimensión 1: Disponibilidad

En la figura N° 23 se observa que la disponibilidad aumenta de 91% a 98 % , por lo tanto existe una mejora en la disponibilidad de los equipos rotativos de 7%.

Figura N° 24 Gráfico diferencia de la Disponibilidad antes y después.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 15 La media de la Disponibilidad antes y después

Estadística Descriptiva				
			Estadístico	Error estándar
DISPONIBILIDAD ANTES	Media		.9117	.00772
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.8957	
		Límite superior	.9276	
	Media recortada al 5%		.9140	
	Mediana		.9200	
	Varianza		.001	
	Desviación estándar		.03784	
DISPONIBILIDAD DESPUES	Media		.9833	.00274
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.9777	
		Límite superior	.9890	
	Media recortada al 5%		.9837	
	Mediana		.9900	
	Varianza		.000	
	Desviación estándar		.01341	

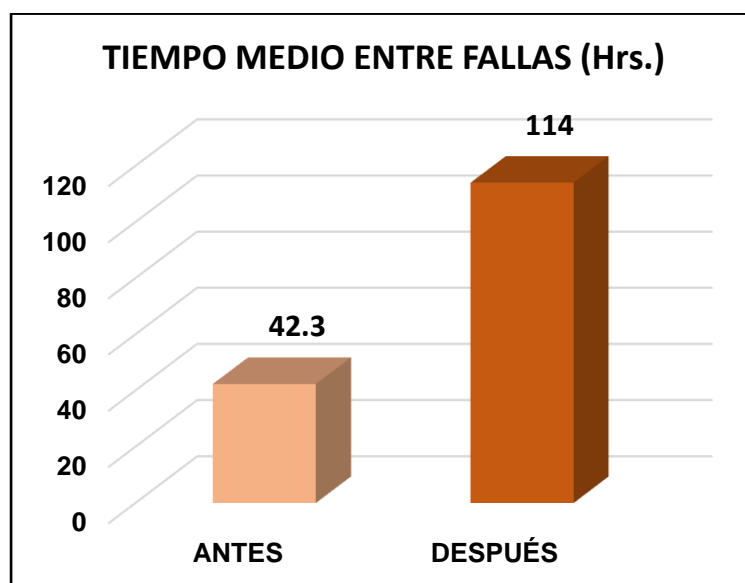
Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 14 se observa la relación de la Disponibilidad antes y después de la implementación del plan del mantenimiento predictivo, la disponibilidad aumenta según se puede apreciar en la media antes y después.

### 3.1.3. Dimensión 2: Tiempo Medio entre Fallas

Existe un incremento del tiempo medio que puede ocurrir una falla de 42.3 horas a 114 horas, lo que significa que la probabilidad de una falla es más lejana aumentó en 65 %.

Figura N° 25 Gráfico Diferencia del tiempo medio entre fallas antes y después.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 16 Valores de la media del MTBF

Estadística Descriptiva				
			Estadístico	Error estándar
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS - ANTES	Media		42.30	3.141
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	35.80	
		Límite superior	48.80	
	Media recortada al 5%		41.67	
	Mediana		36.00	
	Varianza		236.817	
	Desviación estándar		15.389	
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS - DESPUES	Media		114.00	7.402
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	98.69	
		Límite superior	129.31	
	Media recortada al 5%		114.67	
	Mediana		144.00	
	Varianza		1314.783	
	Desviación estándar		36.260	

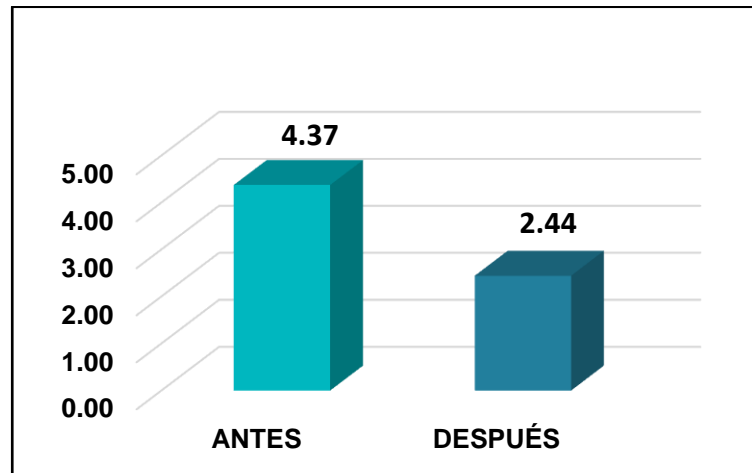
Fuente: spss 22

En la tabla se observa la relación del tiempo medio entre fallas (MTBF) antes y después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo.

### 3.1.4. Dimensión 3: Tiempo Medio de Reparación.

Se bajó el tiempo medio de reparación en un 44.2%

Figura N° 26 Gráfico Diferencia del tiempo medio de reparación antes y después.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 17 Valores de la media del MTTR

Estadística Descriptiva				
			Estadístico	Error estándar
TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN ANTES	Media		4.3729	.48441
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3.3708	
		Límite superior	5.3750	
	Media recortada al 5%		4.1419	
	Mediana		3.7250	
	Varianza		5.632	
	Desviación estándar		2.37311	
TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN DESPUÉS	Media		2.4408	.20258
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.0218	
		Límite superior	2.8599	
	Media recortada al 5%		2.4440	
	Mediana		2.4000	
	Varianza		.985	
	Desviación estándar		.99245	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se observa la relación del tiempo medio de reparación (MTTR) antes y después de la implementación del plan mantenimiento predictivo.

## 3.2. Análisis inferencial

### 3.2.1. Análisis de la hipótesis general

**H<sub>a</sub>:** La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

A fin de poder contrastar la hipótesis general, es necesario primero determinar si los datos que corresponden a la serie de confiabilidad antes y después tienen un comportamiento paramétrico, para tal fin y en vista que las series de ambos datos son en cantidad 24, se procederá al análisis de normalidad mediante el estadígrafo de Shapiro Wilk.

#### **Regla de Decisión:**

Si  $P_{\text{valor}} \leq 0.05$ , los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico

Si  $P_{\text{valor}} > 0.05$ , los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico.

Tabla N° 18. *Pruebas de normalidad*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CONFIABILIDAD ANTES	,899	24	,020
CONFIABILIDAD DESPUES	,899	24	,021

Fuente: SPSS 22

De la tabla N°16 se puede verificar que la significancia de la Confiabilidad Antes tiene un valor menor a 0.05, y la Confiabilidad Después tiene un valor menor a 0.05, por consiguiente y de acuerdo con la regla de decisión queda demostrado que ambos tienen un comportamiento no paramétrico. Dado que lo que se quiere es saber si la confiabilidad ha mejorado, se procederá al análisis con el estadígrafo de Wilcoxon.

## Contrastación de la hipótesis general

$H_0$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

$H_a$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

### Regla de Decisión:

$$H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$$

$$H_a: \mu_{Pa} < \mu_{Pd}$$

Tabla N° 19 Análisis de muestras relacionadas de la Confiabilidad antes y después Wilcoxon

#### Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
CONFIABILIDAD ANTES	,9200	24	,03065	,00626
CONFIABILIDAD DESPUES	,9733	24	,01129	,00231

Fuente: SPSS 22

De la tabla N° 17 ha quedado demostrado que la media de la confiabilidad antes (0,9200) es menor que la media de confiabilidad después (0,9733); por consiguiente no se cumple la  $H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$ ; en tal razón se rechaza la hipótesis nula de que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual queda demostrado que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado.



Tabla N° 20 *Prueba de muestras emparejadas*

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
CONFIABILIDAD ANTES - CONFIABILIDAD DESPUES	-.05333	.03199	.00653	-.06684	-.03983	-8.168	23	.000

Fuente: SPSS22

Asimismo, de la Tabla N° 18 de la prueba de muestras relacionadas queda demostrado que el valor de la significancia es de 0.00, siendo este menor que 0,05, por consiguiente, se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Por otro lado, y a fin de realizar un análisis más detallado para la comprobación de la hipótesis, se presenta el estadístico de prueba, con los resultados de la prueba de Wilcoxon para la confiabilidad, tomando en cuenta lo siguiente:

**Regla de Decisión:**

Si sig. asintótica (bilateral)  $\leq 0,05$  se rechaza la hipótesis nula

Si sig. asintótica (bilateral)  $> 0,05$  se acepta la hipótesis nula

Tabla N° 21 Análisis de  $P_{\text{valor}}$  de la Confiabilidad antes y después. Wilcoxon

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	CONFIABILIDAD DESPUES CONFIABILIDAD ANTES
Z	-4,205 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: SPSS22

De la Tabla N° 19, queda demostrada y detallada la significancia de la prueba de Wilcoxon, aplicado a la confiabilidad, tanto para el antes y el después, que demuestra una sig. asintótica (bilateral) menor a 0,05; por consiguiente, y de acuerdo con la regla de decisión anteriormente descrita, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alterna, aceptando que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

### 3.2.2. Análisis de la hipótesis específica 1

**H<sub>a</sub>:** La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través de disponibilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

A fin de poder contrastar la hipótesis específica, es necesario primero determinar si los datos que corresponden a la serie de disponibilidad antes y después tienen un comportamiento paramétrico, para tal fin y en vista que las series de ambos datos son en cantidad 24, se procederá al análisis de normalidad mediante el estadígrafo de Shapiro Wilk.

#### ***Regla de Decisión:***

Si  $P_{\text{valor}} \leq 0.05$ , los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico

Si  $P_{\text{valor}} > 0.05$ , los datos de la serie tiene un comportamiento paramétrico

Tabla N° 22 Pruebas de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
DISPONIBILIDAD ANTES	,884	24	,010
DISPONIBILIDAD DESPUES	,791	24	,000

Fuente: Propia

De la Tabla N° 20 se puede verificar que la significancia de la disponibilidad antes tiene un valor menor a 0.05, y la disponibilidad después tiene un valor menor a 0.05, por consiguiente y de acuerdo con la regla de decisión queda demostrado que ambos tienen un comportamiento no paramétrico. Dado que lo que se quiere es saber si la disponibilidad ha mejorado, se procederá al análisis con el estadígrafo de Wilcoxon.

### Contrastación de la hipótesis específica 1

$H_0$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad a través de disponibilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

$H_a$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través de disponibilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

### Regla de Decisión:

$$H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$$

$$H_a: \mu_{Pa} < \mu_{Pd}$$

Tabla N° 23 Análisis de muestras relacionadas de la Disponibilidad antes y después Wilcoxon

#### Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
DISPONIBILIDAD ANTES	,9117	24	,03784	,00772
DISPONIBILIDAD DESPUES	,9888	24	,01361	,00278

De la tabla N°21, ha quedado demostrado que la media de la disponibilidad antes (0,9117) es menor que la media de disponibilidad después (0,9888); por consiguiente no se cumple la  $H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$ ; en tal razón se rechaza la hipótesis nula de que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual queda demostrado que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de

vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado.

Tabla N° 24 Valor de la significancia de la Disponibilidad antes y después-Wilcoxon

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
DISPONIBILIDAD ANTES DISPONIBILIDAD DESPUES	-.07708	.03983	.00813	-.09390	-.06026	-9.480	23	.000

Asimismo, de la Tabla N° 22 de la prueba de muestras relacionadas queda demostrado que el valor de la significancia es de 0.00, siendo este menor que 0,05, por consiguiente, se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Por otro lado, y a fin de realizar un análisis más detallado para la comprobación de la hipótesis, se presenta el estadístico de prueba, con los resultados de la prueba de Wilcoxon para la disponibilidad, tomando en cuenta lo siguiente:

**Regla de Decisión:**

Si sig. asintótica (bilateral)  $\leq 0,05$  se rechaza la hipótesis nula

Si sig. asintótica (bilateral)  $> 0,05$  se acepta la hipótesis nula

Tabla N° 25 Análisis de  $P_{\text{valor}}$  de la confiabilidad antes y después. Wilcoxon

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	DISPONIBILIDAD DESPUES – DISPONIBILIDAD ANTES
Z	-4,296 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: SPSS22

De la Tabla N° 23, queda demostrada y detallada la significancia de la prueba de Wilcoxon, aplicado a la disponibilidad, tanto para el antes y el después, que demuestra una sig. asintótica (bilateral) menor a 0,05; por consiguiente, y de acuerdo con la regla de decisión anteriormente descrita, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alterna, aceptando que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través de disponibilidad de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

### 3.2.3. Análisis de la hipótesis específica 2

**H<sub>a</sub>:** La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través del tiempo promedio entre fallas de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

A fin de poder contrastar la hipótesis específica, es necesario primero determinar si los datos que corresponden a la serie del tiempo promedio entre fallas antes y después tienen un comportamiento paramétrico, para tal fin y en vista que las series de ambos datos son en cantidad 24, se procederá al análisis de normalidad mediante el estadígrafo de Shapiro Wilk.

#### **Regla de Decisión:**

Si  $P_{\text{valor}} \leq 0.05$ , los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico

Si  $P_{\text{valor}} > 0.05$ , los datos de la serie tiene un comportamiento paramétrico

*Tabla N° 26 Pruebas de normalidad*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS ANTES	,818	24	,001
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS DESPUES	,629	24	,000

Fuente: SPSS22

De la tabla N° 24 se puede verificar que la significancia del tiempo medio entre fallas antes tiene un valor menor a 0.05, y el tiempo medio entre fallas después tiene un valor menor a 0.05, por consiguiente y de acuerdo con la regla de decisión queda demostrado que ambos tienen un comportamiento no paramétrico. Dado que lo que se quiere es saber si el tiempo medio entre fallas ha mejorado, se procederá al análisis con el estadígrafo de Wilcoxon.

### 3.2.4. Análisis de la hipótesis específica 3

$H_0$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad a través del tiempo medio entre fallas de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

$H_a$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través del tiempo medio entre fallas de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

#### **Regla de Decisión:**

$$H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$$

$$H_a: \mu_{Pa} < \mu_{Pd}$$

Tabla N° 27 Análisis de muestras relacionadas del tiempo medio entre fallas antes y después Wilcoxon

#### **Estadísticas de muestras emparejadas**

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS ANTES	42.30	24	15.389	3.141
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS DESPUES	114.00	24	36.260	7.402

De la Tabla N° 25 ha quedado demostrado que la media del tiempo medio entre fallas antes (42.30) es menor que la media del tiempo medio entre fallas después (114.00); por consiguiente no se cumple la  $H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$ ; en tal razón se rechaza la

hipótesis nula de que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad a través de tiempo medio entre fallas de los equipos rotativos en la línea de galvanizado, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual queda demostrado que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través del tiempo medio entre fallas de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

Tabla N° 28 Valor de la significancia del Tiempo medio entre fallas antes y después-Wilcoxon

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral )
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS ANTES	-71.700	36.572	7.465	-87.143	-56.257	-9.605	23	.000
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS DESPUES								

Asimismo, de la Tabla N° 26 de la prueba de muestras relacionadas queda demostrado que el valor de la significancia es de 0.00, siendo este menor que 0,05, por consiguiente, se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Por otro lado, y a fin de realizar un análisis más detallado para la comprobación de la hipótesis, se presenta el estadístico de prueba, con los resultados de la prueba de Wilcoxon para la disponibilidad, tomando en cuenta lo siguiente:

**Regla de Decisión:**

Si sig. asintótica (bilateral)  $\leq 0,05$  se rechaza la hipótesis nula

Si sig. asintótica (bilateral)  $> 0,05$  se acepta la hipótesis nula

Tabla N° 29 Análisis de  $P_{valor}$  del tiempo promedio entre fallas antes y después. Wilcoxon

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS DESPUES – TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS ANTES
Z	-4,298 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: SPSS 22

De la Tabla N° 27, queda demostrada y detallada la significancia de la prueba de Wilcoxon, aplicado a la disponibilidad, tanto para el antes y el después, que demuestra una sig. asintótica (bilateral) menor a 0,05; por consiguiente, y de acuerdo con la regla de decisión anteriormente descrita, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alterna, aceptando que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través del tiempo medio entre fallas de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

### 3.2.4. Análisis de la hipótesis específica 4

**H<sub>a</sub>:** La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través de tiempo medio de reparación de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

A fin de poder contrastar la hipótesis específica, es necesario primero determinar si los datos que corresponden a la serie del tiempo medio de reparación antes y después tienen un comportamiento paramétrico, para tal fin y en vista que las series de ambos datos son en cantidad 24, se procederá al análisis de normalidad mediante el estadígrafo de Shapiro Wilk.

#### **Regla de Decisión:**

Si  $P_{\text{valor}} \leq 0.05$ , los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico

Si  $P_{\text{valor}} > 0.05$ , los datos de la serie tiene un comportamiento paramétrico

*Tabla N° 30 Pruebas de normalidad*

	Shapiro-Wilk
--	--------------



	Estadístico	gl	Sig.
TIEMPO MEDIO DE REPARACION ANTES	,847	24	,002
TIEMPO MEDIO DE REPARACION DESPUES	,980	24	,893

Fuente: SPSS 22

De la Tabla N° 28 se puede verificar que la significancia del tiempo medio de reparación antes tiene un valor menor a 0.05, y el tiempo medio de reparación después tiene un valor mayor a 0.05, por consiguiente y de acuerdo con la regla de decisión queda demostrado que el antes tiene un comportamiento no paramétrico y el después presenta un comportamiento paramétrico. Dado que lo que se quiere es saber si el tiempo medio de reparación ha mejorado, se procederá al análisis con el estadígrafo de Wilcoxon.

#### **Contrastación de la hipótesis específica 4**

$H_0$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad a través del tiempo medio de reparación de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

$H_a$ : La aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través del tiempo medio de reparación de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

#### **Regla de Decisión:**

$$H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$$

$$H_a: \mu_{Pa} < \mu_{Pd}$$

Tabla N° 31 Análisis de muestras relacionadas del tiempo medio de reparación antes y **después**  
Wilcoxon

#### **Estadísticas de muestras emparejadas**

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar

TIEMPO PROMEDIO DE REPARACION ANTES	4.3729	24	2.37311	.48441
TIEMPO PROMEDIO DE REPARACION DESPUES	2.4408	24	.99245	.20258

De la tabla N° 29 ha quedado demostrado que la media del tiempo medio de reparación antes (4.37) es mayor que la media del tiempo medio de reparación después (2.44); por consiguiente no se cumple la  $H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$ ; en tal razón se rechaza la hipótesis nula de que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones no mejora la confiabilidad a través de tiempo medio de reparación de los equipos rotativos en la línea de galvanizado, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual queda demostrado que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través del tiempo medio de reparación de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

Tabla N° 32 Valor de la significancia del tiempo medio de reparación antes y después- Wilcoxon.

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
TIEMPO MEDIO DE REPARACION ANTES.  TIEMPO MEDIO DE REPARACION DESPUES.	1.93208	1.98437	.40506	1.09416	2.77001	4.770	23	.000

Fuente: SPSS 22

Asimismo, de la tabla N° 30 de la prueba de muestras relacionadas queda demostrado que el valor de la significancia es de 0.00, siendo este menor que 0,05, por consiguiente, se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Por otro lado, y a fin de realizar un análisis más detallado para la comprobación de la hipótesis, se presenta el estadístico de prueba, con los resultados de la prueba de Wilcoxon para la disponibilidad, tomando en cuenta lo siguiente:

**Regla de Decisión:**

Si sig. asintótica (bilateral)  $\leq 0,05$  se rechaza la hipótesis nula  
 Si sig. asintótica (bilateral)  $> 0,05$  se acepta la hipótesis nula

Tabla N° 33 Análisis de  $P_{\text{valor}}$  del tiempo medio de reparación antes y después. Wilcoxon

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	TIEMPOMEDIOENTREFALLASDESPUES - TIEMPOMEDIOENTREFALLASANTES
Z	-4,298 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: SPSS22

De la tabla N° 31 queda demostrada y detallada la significancia de la prueba de Wilcoxon, aplicado a la disponibilidad, tanto para el antes y el después, que demuestra una sig. asintótica (bilateral) menor a 0,05; por consiguiente, y de acuerdo con la regla de decisión anteriormente descrita, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alterna, aceptando que la aplicación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través del tiempo medio de reparación de los equipos rotativos en la línea de galvanizado de la empresa metalmecánica.

## **IV. DISCUSIÓN**

- Según los resultados obtenidos en nuestra hipótesis general se pudo determinar que la implementación del mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la Confiabilidad de los equipos rotativos en el área de Galvanizado de la empresa metalmecánica, Lima 2017, se logró incrementar en 5% la confiabilidad de los equipos rotativos de 92 a 97 %. SERENO Sergio (2016) en su tesis Elaboración de planes de mantenimiento centrado en Confiabilidad a equipos de planta Kimberly-Clark, demostró que mediante la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad se consigue importantes logros en la producción de la planta logrando incrementar un 3% acercándose al 100% de confiabilidad.
- Según los resultados obtenidos en nuestra dimensión de Disponibilidad cuyo indicador es horas de operación, se logró determinar que la implementación del mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la disponibilidad de los equipos rotativos en el área de galvanizado en una empresa metalmecánica, Lima 2017 disponibles de los equipos a producción en el área de Galvanizado, se logró incrementar logrando una mejora de 7% (de 91% a 98%). RUIZ, Adriana. (2012) en su tesis Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo logró incrementar la disponibilidad en 5% (de 90% a 95%). debido a las fallas repetitivas en los principales equipos y auxiliares afectando la imagen de la organización por la ineficiencia y perdidas de producción.debió mejorar la disponibilidad en la parte mecánica para obtener maxima rentabilidad en el negocio
- Finalmente, el tiempo medio entre fallas se incrementó de 42.3 horas a 114 horas, lo que significa que la probabilidad que se produzca una falla es más lejana, la mejora de los tiempos de ocurrencia de una falla fue de 65 %, asimismo el tiempo medio de reparación se bajó con la implementación de la mejora en un 44.2%, es decir que el tiempo de reparación de un equipo es menor. ARÉVALO Gilberto y PAULINO Jony (2012) en su tesis El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero se

determina la criticidad mediante la evaluación de los equipos y hacer el monitoreo para encontrar fallas potenciales, la no aplicación de técnicas predictivas trae como consecuencia la falla de los equipos principales que detienen el proceso productivo e implican una pérdida de 7500 ton/día.

Se puede observar en este estudio de investigación que los 5 equipos críticos evaluados después de la mejora tienen un tiempo medio entre falla de 2850 horas por lo tanto se encuentra en condiciones normales de trabajo que va de acuerdo con el tipo de maquinaria que se emplea en esta empresa. Con respecto al tiempo medio de reparación se encuentran dentro de los estándares establecidos en la empresa dando lugar a una alta confiabilidad que en promedio de los 5 equipos estudiados es de 99.8 %.

## **V. CONCLUSIÓN**

1. Queda demostrado en la presente investigación que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad de los equipos rotativos del área de galvanizado, esto se basa a los datos obtenidos en las pruebas realizadas a esta variable dependiente en donde se incrementó la confiabilidad en 5%, se encontró en 92% y después de la mejora se llegó a obtener 97%.
2. Queda evidenciado en la presente investigación que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la disponibilidad de los equipos rotativos del área de galvanizado, gracias a esta herramienta predictiva y en base a resultados obtenidos de la prueba de hipótesis de esta dimensión se logró obtener una mejora que pasó de 91% a 98% es decir un incremento de 7%.
3. Finalmente se puede afirmar que la implementación del plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejoró el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación, en base a los resultados obtenidos de las pruebas de hipótesis realizadas a estas dimensiones se pudo obtener una mejora de 65% y 44.2% respectivamente.

De los resultados obtenidos se concluye que empleando las técnicas predictivas se logra optimizar la Gestión del Mantenimiento facilitando la toma de decisiones mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos.



## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda establecer responsables de preferencia que tenga experiencia y calidad técnica en reparaciones de mantenimiento para garantizar la mantenibilidad de los equipos y la toma de decisiones, también se hará responsable de la toma de datos y monitoreo de los equipos rotativos que permitan establecer un seguimiento y control de las mejoras que fueron implementadas y el cumplimiento del análisis de fallas por el personal técnico de mantenimiento.
2. Se recomienda con respecto a la aplicación de la herramienta de análisis de vibraciones Incluir a todos los técnicos en la capacitación en el uso de herramientas Se ha podido evidenciar que los técnicos con mayor experiencia aportan mucho en el análisis de fallas y en la toma de decisiones.
3. En la mejora obtenida con la implementación del mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones, se recomienda extender dicha metodología de mantenimiento a otras áreas de la empresa e incluir otras herramientas predictivas como el análisis de aceite y termografía, ya que la empresa cuenta con diversidad de maquinaria en las diferentes líneas de producción. Mejorando la confiabilidad aseguramos la competitividad de la empresa, garantizando niveles adecuados de confiabilidad operacional y disponibilidad de los equipos.

## **VII. REFERENCIAS**

**AREVALO, Gilberto y PAULINO, Jony. 2012. 288pp.** El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero. Título (Maestro en Ingeniería). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012. 288pp.

Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1475>.

**AZUARA, Julissa. 2015.** Herramientas para toma de decisiones. Herramientas para toma de decisiones. Diagrama de Pareto. [En línea] Julissa Azuara, 15 de 07 de 2015. [Citado el: 5 de 01 de 2017.] Disponible en: <http://herramientasparatomadedecisionesuthh>.

**BERNAL, César. 2010.** Metodología de la investigación. Colombia : 3ra Edición Pearson, 2010. 320 pp ISBN 9789586991285.

**CARCELL, Javier. 2014.** La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial. Valencia : Omnia Publisher SL, 2014. pág. 322. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books>. ISBN : 978-84-941872-7-8.

**CHERRES Diego y ÑAUTA José. 2015.** Estudio de implementación del sistema de mantenimiento predictivo en la compañía ecuatoriana del caucho Erco. Título (Ingeniero eléctrico). Cuenca : Universidad Politecnica Salesiana Ecuador, 2015. 168pp. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11282/1/UPS-CT005547.pdf>.

**CRUZ, Adrián. 2011.** Implementación del mantenimiento predictivo en la empresa Agr-Rackend. Título (Ingeniería en Mantenimiento Industrial). Tula : Universidad Tecnológica de Mexico, 2011. 87pp. Disponible en: <http://www.uttt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/63A.pdf>.

**CUATRECASAS, Luis y TORELL,Francesca. 2010.** Tpm en un entorno Lean Management. Barelona:Profit Editorial I, 2010. 411 pp ISBN: 978-84-92956-12-8.

**DA COSTA, Martín. 2010.** Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. Título (Ingeniero Mecánico). Lima : Universidad Catolica del Peru, 2010. 120pp. Disponible en:  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/567/DA\\_COSTA\\_BURGA\\_MART%C3%8DN\\_MANTENIMIENTO\\_MOTORES\\_GAS..](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/567/DA_COSTA_BURGA_MART%C3%8DN_MANTENIMIENTO_MOTORES_GAS..)

**DUFFUAA, Salih, RAOUF, A y CAMPBELL,Jhon. 2005.** Sistemas de mantenimiento: Planeación y Control. s.l. : Limusa Wiley, 2005. 419 pp. ISBN 968-18-5918-9.

**GARCÍA, Oliverio. 2012.** Gestion Moderna del Mantenimiento Industrial. Bogotá : Ediciones de la U, 2012. 168 pp ISBN: 978-958-762-051-1.

**GARCÍA, Santiago. 2003.** Mantenimiento, Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid : Ediciones Díaz de santos, 2003. Disponible en :  
<https://kupdf.com/download/organizacion-y-gestion-integral-de-mantenimiento.pdf>. 321pp ISBN: 84-7978-548-9.

**GONZALES, Ramón. 2009.** Implementación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración en los compresores de tornillo de una empresa procesadora y enlatadora de productos del mar. título (Ingeniero Mecánico). Barcelona : Universidad de Oriente España, 2009. 152pp. Disponible en:  
<http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2504/1/TESIS.IM009G36.pdf>.

**HERNANDEZ, Roberto. 2014.** Metodología de la Investigación. s.l. : McGraw Hill, 2014. 600 pp. ISBN 978-1-4562-2396-0.

**MORA, Alberto. 2009.** Mantenimiento, Planeación, ejecución y control. Bogotá : Alfaomega Colombiana, 2009. 504 pp. ISBN: 978-958-682-769-0.

**RIQUELME, Marcel. 2013.** Proyecto en monitoreo de condiciones para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas. Título (Ingeniero Civil Electricista). Santiago : Santiago de Chile, 2013. 86pp. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115019>.

**ROJAS, Randall. 2010.** Plan para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad(RCM)para plantas de coque en proyectos del ICE. Título(Master en Administración de proyectos). San José : Universidad para la Cooperación Internacional, Costa Rica, 2010. 88pp. Disponible en : <http://docplayer.es/17072904-Universidad-para-la-cooperacion-internacional-uci.html>.

**RUIZ, Adriana. 2012.** Modelo para la implementación del mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo. Título (Especialización en Gerencia de mantenimiento). Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander Colombia, 2012. 130pp.

Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/143006.pdf>.

**SERENO, Sergio. 2016.** Elaboración de planes de mantenimiento centrado en confiabilidad a equipos de planta Kimberly-Clark. Título (Ingeniero Mecánico). Sartenejas : Universidad Simón Bolívar Venezuela, 2016. 161pp. Disponible en: <https://documentslide.com/documents/tesis-analisis-de-fallas-kimberly.html>.

**TAVARES, Lourival.Reliabilityweb.com.** Cálculo de la confiabilidad: Reliabilityweb.com. Fort Meyers, Florida. [En línea] [Citado el: 1 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-calculo-de-la-confiabilidad>.

**VALDERRAMA, Santiago. 2013.** Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. s.l. : San Marcos, 2013. ISBN: 978-612-302-878-7.

**VILLACRES, Sergio. 2016.** Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad(RCM) Empresa EP. Tesis(Magister Gestión Mantenimiento Industrial). Riobamba : Escuela Superior Politecnica Ecuador, 2016. 96pp. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4749>.

# **ANEXOS**



## ANEXO 1. Recibo digital Turnitin



### Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: **Jose Pasache Morales**  
Título del ejercicio: **ACTA DE ORIGINALIDAD**  
Título de la entrega: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDL...**  
Nombre del archivo: **TESIS\_PARA\_TURNITIN.docx**  
Tamaño del archivo: **3.45M**  
Total páginas: **114**  
Total de palabras: **17,682**  
Total de caracteres: **112,942**  
Fecha de entrega: **18-abr-2018 07:10p.m. (UTC-0500)**  
Identificador de la entrega: **949368162**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA SEGURIDAD DE LOS  
SERVIDORES PARA SERVIDORES DE LA UNIVERSIDAD DE LOS  
RÍOS (UNIVERSITY OF THE RIVERS) - LIMA, PERÚ

TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

ALUMNO:  
JOSÉ PASACHE MORALES  
CÓDIGO:  
949368162

FECHA DE ENTREGA:  
18-ABR-2018 07:10P.M.

114 / 114  
100%

Derechos de autor 2018 Turnitin. Todos los derechos reservados.

## ANEXO 2. Carta de presentación para validación de instrumentos



### CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor: Ing. Ronald Dávila Laguna  
Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestros saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que siendo estudiante de la EAP de Ingeniería Industrial de la UCV, en la sede Lima Norte promoción 2017, grupo 36, requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestra investigación y con la cual optaremos el Título de Ingeniero.


El título nombre de nuestro Desarrollo de investigación es: "PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA, LIMA 2017." y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.

  
Firma  
José Gabriel Pasache Morales  
02841113

## ANEXO 1. Validación de instrumentos de medición. Documento N° 1



### CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE : PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CONFIABILIDAD

N°	DIMENSIONES VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
	<b>DIMENSIÓN 1: Capacitación</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Capacitación del personal: $\text{Capacitación} = \frac{\text{N° Personas capacitadas}}{\text{Total de Personas}} \times 100 \%$	✓		✓		✓		
	<b>DIMENSIÓN 2: Implementación</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
2	Cumplimiento de Implementación: $\text{Implementación} = \frac{\text{N° de máquinas a predictivo}}{\text{total de máquinas}} \times 100 \%$	✓		✓		✓		
	<b>DIMENSIÓN 3: Monitoreo</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
3	Cumplimiento de Monitoreo: $\text{TF} = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100 \%$	✓		✓		✓		
	<b>DIMENSIONES VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS</b>							
	<b>DIMENSIÓN 1: Disponibilidad</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Disponibilidad de los equipos: $\text{Disp.} = \frac{\text{Total hrs prog. - hrs parada por mantto}}{\text{Total hrs programadas}} \times 100 \%$	✓		✓		✓		
	<b>DIMENSIÓN 2: Tasa de Fallas y Reparación</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
2	Tiempo promedio entre Fallas y Reparación. $\text{MTBF} = \frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$ $\text{MTTR} = \frac{\text{N° de Horas parada por avería}}{\text{N° Total de averías}}$	✓		✓		✓		

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

SUFICIENCIA

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable [ ✓ ]

Aplicable después de corregir [ ]

No aplicable [ ]

Apellidos y nombres del juez validador. Dr. JORGE RAFAEL DÍAZ DUMONT

DNI: 08648805

Especialidad del validador: INGENIERO INDUSTRIAL

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

**Nota:** Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

04 de Mayo del 2018

Firma del Experto Informante.

Dr. Jorge Rafael Díaz Dumont  
(Firma)  
DNI: 08648805

## ANEXO 2. Validación de instrumentos de medición. Documento N° 2



### CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE : PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CONFIABILIDAD

N°	DIMENSIONES VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES	Pertinencia <sup>1</sup>	Relevancia <sup>2</sup>	Claridad <sup>3</sup>	Sugerencias
	<b>DIMENSIÓN 1: Capacitación</b>	Si	No	Si	No
1	Capacitación del personal: $\text{Capacitación} = \frac{\text{N° Personas capacitadas}}{\text{Total de Personas}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIÓN 2: Implementación</b>	Si	No	Si	No
2	Cumplimiento de Implementación: $\text{Implementación} = \frac{\text{N° de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIÓN 3: Monitoreo</b>	Si	No	Si	No
3	Cumplimiento de Monitoreo: $\text{TF} = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIONES VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS</b>				
	<b>DIMENSIÓN 1: Disponibilidad</b>	Si	No	Si	No
1	Disponibilidad de los equipos: $\text{Disp.} = \frac{\text{Total hrs prog.} - \text{Hrs parada por mantto}}{\text{Total hrs programadas}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIÓN 2: Tasa de Fallas y Reparación</b>	Si	No	Si	No
2	Tiempo promedio entre Fallas y Reparación. $\text{MTBF} = \frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$ $\text{MTTR} = \frac{\text{N° de Horas parada por avería}}{\text{N° Total de averías}}$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Si hay

Opinión de aplicabilidad: Aplicable ☒ Aplicable después de corregir ☐ No aplicable ☐

Apellidos y nombres del juez validador. Dr. / Mg: D.A.L.I.A. LAGUNA RONALD DNI: 72423025

Especialidad del validador: INGENIERO INDUSTRIAL

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

**Nota:** Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

04 de Mayo del 2018

Firma del Experto Informante.

### ANEXO 3. Validación de instrumentos de medición. Documento N° 3



#### CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE : PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CONFIABILIDAD

N°	DIMENSIONES VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES	Pertinencia <sup>1</sup>	Relevancia <sup>2</sup>	Claridad <sup>3</sup>	Sugerencias
	<b>DIMENSIÓN 1: Capacitación</b>	Si	No	Si	No
1	Capacitación del personal: $\text{Capacitación} = \frac{\text{N° Personas capacitadas}}{\text{Total de Personas}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIÓN 2: Implementación</b>	Si	No	Si	No
2	Cumplimiento de Implementación: $\text{Implementación} = \frac{\text{N° de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIÓN 3: Monitoreo</b>	Si	No	Si	No
3	Cumplimiento de Monitoreo: $\text{TF} = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIONES VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS</b>				
	<b>DIMENSIÓN 1: Disponibilidad</b>	Si	No	Si	No
1	Disponibilidad de los equipos: $\text{Disp.} = \frac{\text{Total Hrs prog.} - \text{Hrs parada por mantto}}{\text{Total Hrs programadas}} \times 100 \%$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>DIMENSIÓN 2: Tasa de Fallas y Reparación</b>	Si	No	Si	No
2	Tiempo promedio entre Fallas y Reparación. $\text{MTBF} = \frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$ $\text{MTTR} = \frac{\text{N° de Horas parada por avería}}{\text{N° Total de averías}}$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Es suficiente

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [ ☐ ] Aplicable después de corregir [ ☐ ] No aplicable [ ☐ ]

Apellidos y nombres del juez validador. Dr. / Mg: Dy. Juan P. Rojas DNI: 06535088

Especialidad del validador: Dy. Gerardo T. Villegas

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

**Nota:** Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

04 de Mayo del 2018

[Firma]  
Firma del Experto-Informante.

## ANEXO 4- Matriz de operacionalización de variables

### MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA LIMA 2017.

OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	FORMULA	ESCALA
General	General	V.I. Plan Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones.	El establecimiento de patrones en condiciones normales de operación permite diferenciar situaciones fuera del estándar, lo cual se logra con el análisis de vibraciones , una de las metodologías más certeras en el diagnostico y monitoreo de equipos y elementos. (Mantenimiento.Planeación, ejecución y control, Mora A. 2009, p. 408)	El Mantenimiento Predictivo por analisis de vibraciones mecánicas requiere de la capacitación del personal técnico de mantenimiento en las técnicas predictivas para luego llevar acabo la implementación y el control respectivo para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos rotativos a través de la vigilancia continua de los niveles de vibración de las mismas.	Capacitación	Capacitación del personal	Capacitación = $\frac{\text{Nº Personas capacitadas}}{\text{Total de Personas}} \times 100$	Razón
Analizar si la implementación de un plan de Mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad en los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica	¿La implementación de un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora la <b>confiabilidad</b> en los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica. Lima - 2017. ?				Implementación	Cumplimiento de Implementación	Implementación = $\frac{\text{Nº de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$	Razón
					Monitoreo de condición	Cumplimiento de monitoreo	TF= $\frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	Razón
					Específicas	Específicas	V.D. Confiabilidad de los equipos rotativos.	La confiabilidad operativa es una de las más modernas estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han usado. Se basa en análisis de condición y en análisis estadísticos, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de la organización.(García O. 2012, p. 90).
Aplicar la implementación de un plan de Mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones mejora la confiabilidad a través de la disponibilidad en los equipos rotativos del área de Galvanizado en una empresa metalmecánica.	* ¿La Implementación de un plan de Mantenimiento Predictivo por análisis de vibraciones mejora la <b>- disponibilidad (HE1) - el tiempo promedio entre fallas (HE2) -el tiempo promedio de reparación (HE3)</b> de los equipos rotativos del área de Galvanizado en la empresa metalmecánica. Lima - 2017 ?	Tasa de fallas y Reparación	Tiempo promedio entre fallas	MTBF = $\frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$	Razón			
			Tiempo promedio de reparación	MTTR= $\frac{\text{Nº de Horas parada por avería}}{\text{Nº Total de averías}}$				

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 5. Indicador de capacitación

INDICADOR DE CAPACITACIÓN			
<b>Actividad a Realizar</b>	Capacitación		
<b>Tema</b>	Análisis de vibraciones	<b>Fecha :</b>	
<b>Definición del Indicador</b>			
Este indicador define el cumplimiento de las charlas de capacitación de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones.			
<b>Fórmula de cálculo</b>			
$\text{Charlas de capacitación} = \frac{\text{Charlas de capacitación realizadas}}{\text{Total de charlas de capacitación}} \times 100$			
<b>OBJETIVOS</b>			
1.- Crear hábitos para la aplicación del mantenimiento predictivo. 2.- Monitorear los equipos y detectar algún cambio inusual.			
<b>VALORES ASOCIADOS AL VALOR DE DESEMPEÑO</b>			
INDICADOR	BUENO		75% - 100%
	REGULAR		50% - 75%
	MALO		0% - 50%
Responsable : <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 300px; height: 20px; vertical-align: middle;"></span>			

Elaboración

propia

## ANEXO 6. Registro de cumplimiento de Capacitación

CAPACITACIÓN INTERNA					
TEMA :	MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANALISIS DE VIBRACIONES				
	TEMA:	FECHA	HORAS	CUMPLIMIENTO %	OBSERVACIONES
SESIÓN N° 1	Conceptos básicos del mantenimiento predictivo	Semana 1	6	100%	
SESIÓN N° 2	Técnicas de inspección visual	Semana 2	6	100%	
SESIÓN N° 3	Análisis de vibraciones.	Semana 3	6	100%	
SESIÓN N° 4	Monitoreo en línea de equipos críticos	Semana 4	6	100%	

El % de Capacitación debe cumplirse al 100%

Responsable: Asistente de Planificación

Elaboración

propia



## ANEXO 7. Tabla de Evaluación de Equipo – Criticidad

TABLA PARA EVALUACIÓN DE EQUIPO				
Equipo:	Ventilador de combustión tina de Zinc			
ITEM	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACIÓN	OBSERVACIONES
<b>1. SEGURIDAD Y SALUD</b>				
	Lesiones de incapacidad parcial o permanente (mayor a 30 días)		4	
	Lesiones significativas (incapacidad entre 1 y 30 días)		3	
	Lesiones leves (no hay incapacidad)		2	
	No hay riesgo de lesión		1	
<b>2. VALOR TÉCNICO ECONÓMICO</b>				
Considerar el costo de Adquisición, Operación y mantenimiento.	Alto		3	Entre U\$S 5,000 y U\$S 10,000
	Medio		2	Entre U\$S 1,000 y U\$S 5,000
	Bajo		1	Menos de U\$S 500
<b>3. LA FALLA AFECTA</b>				
a. Al equipo en SI	Si		2	¿Deteriora otros componentes?
	No		0	
b. Al servicio	Si		2	¿Origina problemas a otros equipos?
	No		0	
c. Al Medio Ambiente	Riesgo		1	
	Sin Riesgo		0	
<b>4. IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN</b>				
	75% de impacto		4	
	50% de impacto		3	
	25% de impacto		2	
	Menor al 25%		1	
<b>5. FLEXIBILIDAD DEL EQUIPO EN EL SISTEMA</b>				
	Unico		2	No existe otro igual o similar
	By Pass		1	El sistema puede seguir funcionando
	Stand by		0	Existe otro igual o similar no instalado
<b>6. DEPENDENCIA LOGISTICA</b>				
	Extranjero		3	Repuestos se tienen que importar.
	Loc. / Ext.		2	Algunos repuestos se compran localmente.
	Local		1	repuestos se consiguen localmente.
<b>7. DEPENDENCIA DE LA MANO DE OBRA</b>				
	Terceros		2	El mantenimiento requiere contratar a terceros.
	Propia		1	El mantenimiento se realiza con personal propio.
<b>8. FACILIDAD DE REPARACIÓN (MANTENIBILIDAD)</b>				
	Baja		1	Mantenimiento Difícil
	Alta		0	Mantenimiento Fácil
TOTAL			19	
<b>ESCALA DE REFERENCIA</b>				
A	CRITICA	16 a 24		
B	IMPORTANTE	11 a 15		
C	REGULAR	06 a 10		
D	OPCIONAL	00 a 05		

Fuente:

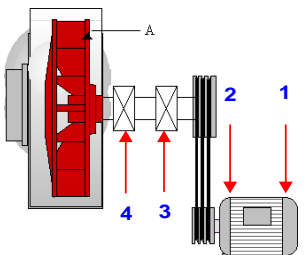
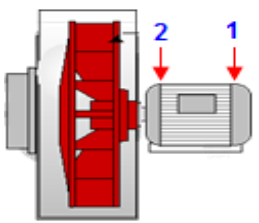
Elaboración

propia

## ANEXO 8. Ficha Registro de Monitoreo de Equipos

**Ficha de Registro de Datos - Monitoreo Predictivo**

Departamento de Mantenimiento

Fecha de Medición :

PROCESO : \_\_\_\_\_

EQUIPO: \_\_\_\_\_

VIBRACION TOTAL: m m/s

ENVOLVENTE DE ACELERACION: E(Gs EnV)

Responsable : \_\_\_\_\_

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PTO.</b>	<b>EQUIPO</b>	Ventilador de Combustión 1 Tina de zn	Extractor Lavador de gases Nº1 Scrubber	Extractor Lavador de gases Nº2 Scrubber	Extractor Gotas / Tina de Zinc	Extractor Gotas Tina Zn-Al	Wiper acido	Wiper enjuague	Wiper flux	Wiper Enfrio(Zn/Bznal)	Wiper Wax (Zn/Bznal)
	Potencia	10 HP BALDOR	13 kw Ac-Motoren	13 kw Ac-Motoren	11Kw(15HP) WEG	15KW(20HP) WEG	3,7KW(5,0HP) WEG	3,7KW(5,0HP) WEG	3,7KW(5,0HP) WEG	3,7KW(5,0HP) WEG	3,7KW(5,0HP) WEG
	Velocidad (Rpm)	3525 rpm	1752rpm	1752rpm	3525 rpm	3535 Rpm	3485 Rpm	3485 Rpm	3486 Rpm	3485 Rpm	3486 Rpm
<b>1</b>	V										
	H										
	A										
	E(Gs EnV)										
	Tº										
<b>2</b>	V										
	H										
	A										
	E(Gs EnV)										
	Tº										
<b>3</b>	V										
	H										
	A										
	E(Gs EnV)										
	Tº										
<b>4</b>	V										
	H										
	A										
	E(Gs EnV)										
	Tº										

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9. Programa Anual de Mantenimiento Predictivo

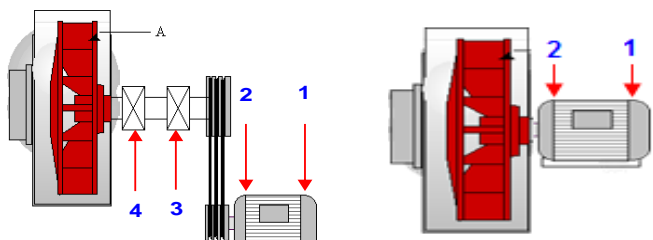
PROGRAMA ANUAL PARA MEDICIONES DE VIBRACIÓN Y TEMPERATURA DE EQUIPOS CRITICOS																																																				
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO																	AREA : GALVANIZADO EN CALIENTE																																			
EQUIPO		AÑO	2016														2017																																			
		MES	AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO					
		SEMANA	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	Ventilador de Combustión 1 Tina de zn	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
2	Ventilador de Combustión 1 Tina Zn/Al	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
3	Extractor Lavador de gases Nº1 Scrubber	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
4	Extractor Lavador de gases Nº2 Scrubber	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
5	ExtractorGotas / Tina de Zinc	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
6	Extractor Gotas Tina Zn/Al	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
7	Wiper acido	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
8	Wiper enjuague	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
9	Wiper flux	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
10	Wiper Enfrio (Zn/Al)	4 semanas			X				X				X			X			X					X				X				X				X			X													
TRABAJO PROGRAMADO																																																				
TRABAJO REALIZADO			X																																																	
TRABAJO REPROGRAMADO			R																																																	
Técnico Responsable			JPM										Supervisor de Mantenimiento			RMH																																				

Fuente:

Elaboración

Propia

## ANEXO 10. Monitoreo de vibraciones de Equipos Rotativos de la línea de Galvanizado

Ficha de Registro de Datos Monitoreo Predictivo											
Departamento de Mantenimiento								<div>PROCESO : EQUIPO:</div> <div>Línea de Galvanizado Sopladores y Extractores</div>			
Fecha de Medición : Semana 46 / 2016				Planificador : José Pasache M.							
PTO.	EQUIPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ventilador de Combustión 1 Tina de zn	Extractor Lavador de gases Nº1 Scrubber	Extractor Lavador de gases Nº2 Scrubber	Extractor Gotas / Tina de Zinc	Extractor Gotas Tina Zn-Al	Wiper acido	Wiper enjuague	Wiper flux	Wiper Enfrio(Zn/Bznal)	Wiper Wax (Zn/Bznal)	
	Potencia Velocidad (Rpm)	10 HP BALDOR 3525 rpm	13 kw Motoren 1752rpm	13 kw Ac-Motoren 1752rpm	11Kw (15HP) WEG 3525 rpm	15KW(20HP) WEG 3535 Rpm	3,7KW(5,0HP) WEG 3485 Rpm	3,7KW(5,0HP) WEG 3485 Rpm	3,7KW(5,0HP) WEG 3486 Rpm	3,7KW(5,0HP) WEG 3485 Rpm	3,7KW(5,0HP) WEG 3486 Rpm
1	V	5.00	1,6 / 3,3	3.2	6,7 / 7,0	3.00	8.80	11.50	1,5 / 3	1,6 / 3,3	1.80
	H	8.70	0,9 / 1,3	3.50	7.80	1.70	15.00	8.00	1.70	0,9 / 1,3	1.80
	A	13.00	3,5 / 5	3.70	6.50	1.90	22.00	11.00	1.90	3,5 / 5	2.20
	E(Gs EnV)	0.15	0.05	0.45	0.06	0.02	0.22	0.18	0.45	0.05	0.29
	Tº	45 °C	40 °C	40 °C	45 °C	31 °C	30 °C	27 °C	45 °C	40 °C	
2	V	3.40	4,5 / 7,7	4.5	7.50	1.80	16.00	5.00	3.00	4,5 / 7,7	4,5 / 7,7
	H	3.80	0,6 / 1,0	3.60	2.90	1.80	20.00	8.70	1.70	0,6 / 1,0	0,6 / 1,0
	A	3.80	3,8 / 6,3	4.80	3.40	2.20	17.50	13.00	1.90	3,8 / 6,3	3,8 / 6,3
	E(Gs EnV)	1.00	0.12	0.60	0.06	0.02	0.18	0.15	0.21	0.15	0.12
	Tº	49 °C	50 °C	52 °C	72 °C	44 °C	36 °C	40 °C	38 °C	43 °C	50 °C
3	V		8,5 / 9,4	3.8			57.00	15.50	3.50	2.70	3.10
	H		5 / 5,8	4.90			30.00	8.30	2.80	1.90	2.90
	A		7,4 / 8,5	15.50			15.80	3.80	4.10	2.2	2.50
	E(Gs EnV)		0.29	5.00			0.11	0.17	0.12	0.29	0.45
	Tº		40 °C	63 °C			65 °C	36 °C	46 °C	40 °C	42 °C
4	V		6.30	3.9							
	H		4.00	4.50							
	A		13.5	11.50							
	E(Gs EnV)		0.29	2.18							
	Tº		50 °C	55 °C							

Observaciones :

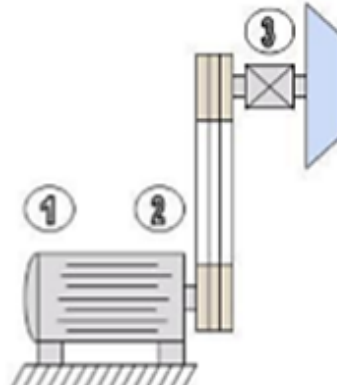
Equipo Nº 03 Extractor de gases 2 requiere el cambio de rodamientos según lectura "g" (Env. De Acel.) en los puntos 02 y 03 (Rod. De chumaceras)

Equipo Nº 06 El Waiper de ácido de enfrio tiene demasiada vibración se requiere mejorar sujeción de bases y soportes para luego balancear el impulsor.

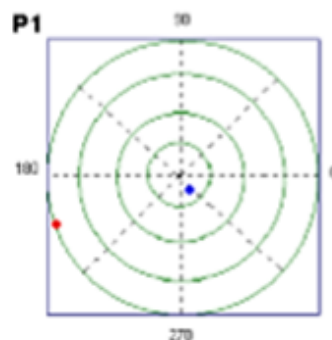
## ANEXO 11. Reporte de balanceo dinámico

### REPORTE DE BALANCEO No. 0164-16

Nombre	LINEA GALVANIZADO		
Máquina:	Ventilador N° 4		
Fecha:	02 11 17	Test RPM:	3,450 rpm
Calidad de Balanceo:	ISO 1940 – Grado G6.3		
Plano 1: Impulsor	Número de Planos: 1		



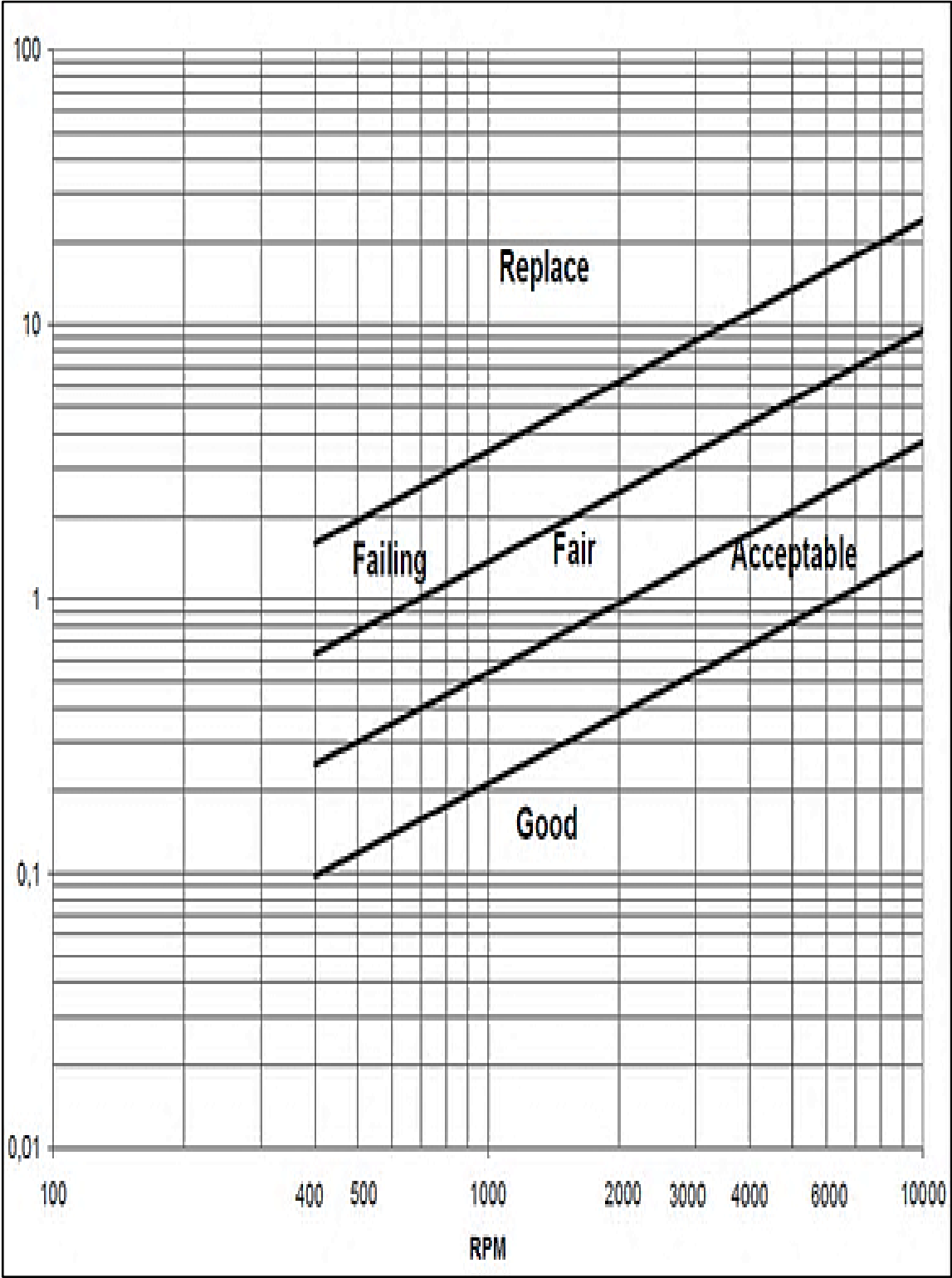
	Desbalance Inicial		Condición Final	
	Plano1:		Plano1:	
Vibración : (mm/s)	35.2		2.4	
Fase de Vib: (Grados)	204°		312°	
Masa de Corrección (gr)			20-50°	



OBSERVACIONES: Valores a 1X = Velocidad de giro de la máquina.

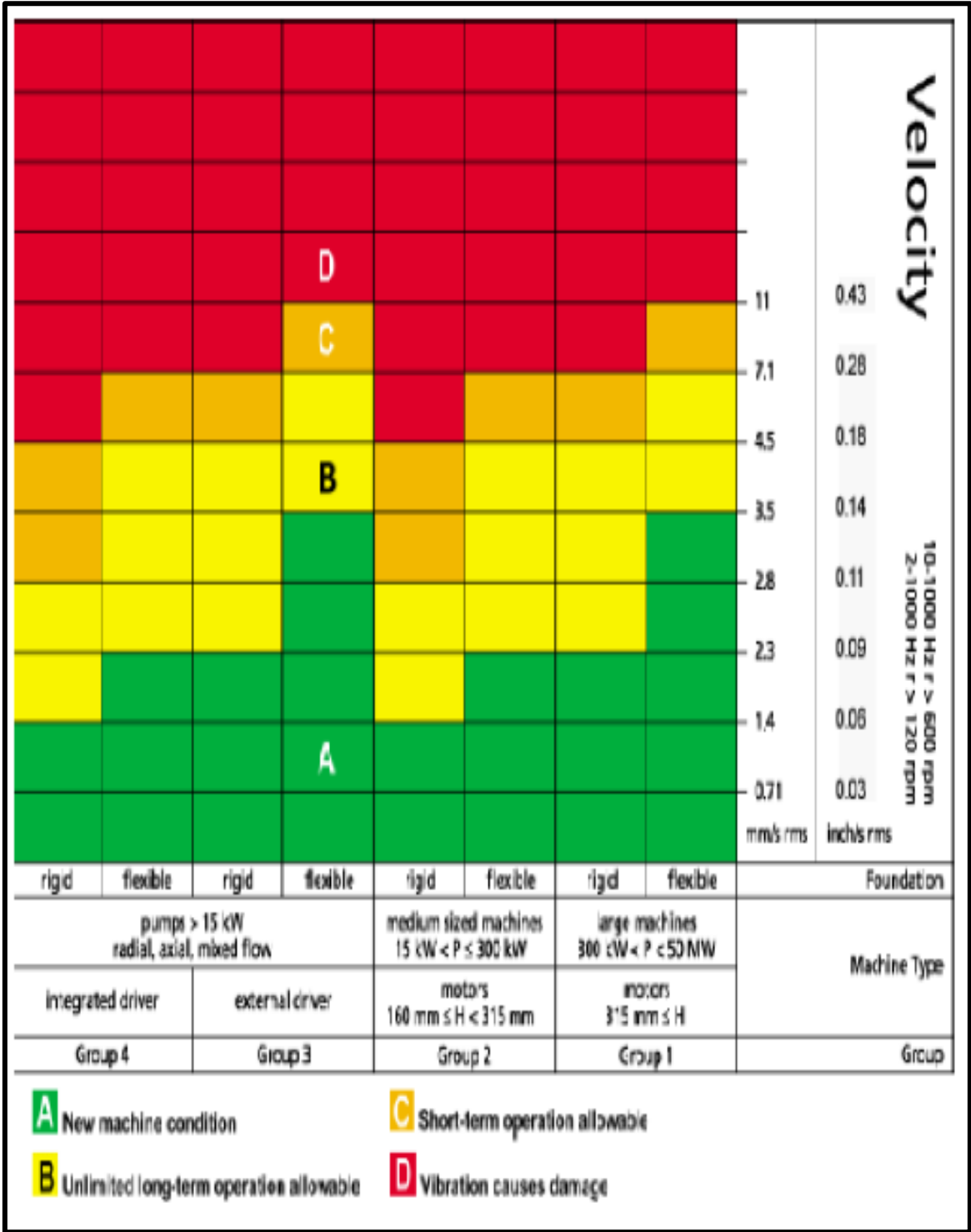
Fuente: La empresa

**ANEXO 12. Severidad de Rodamientos**



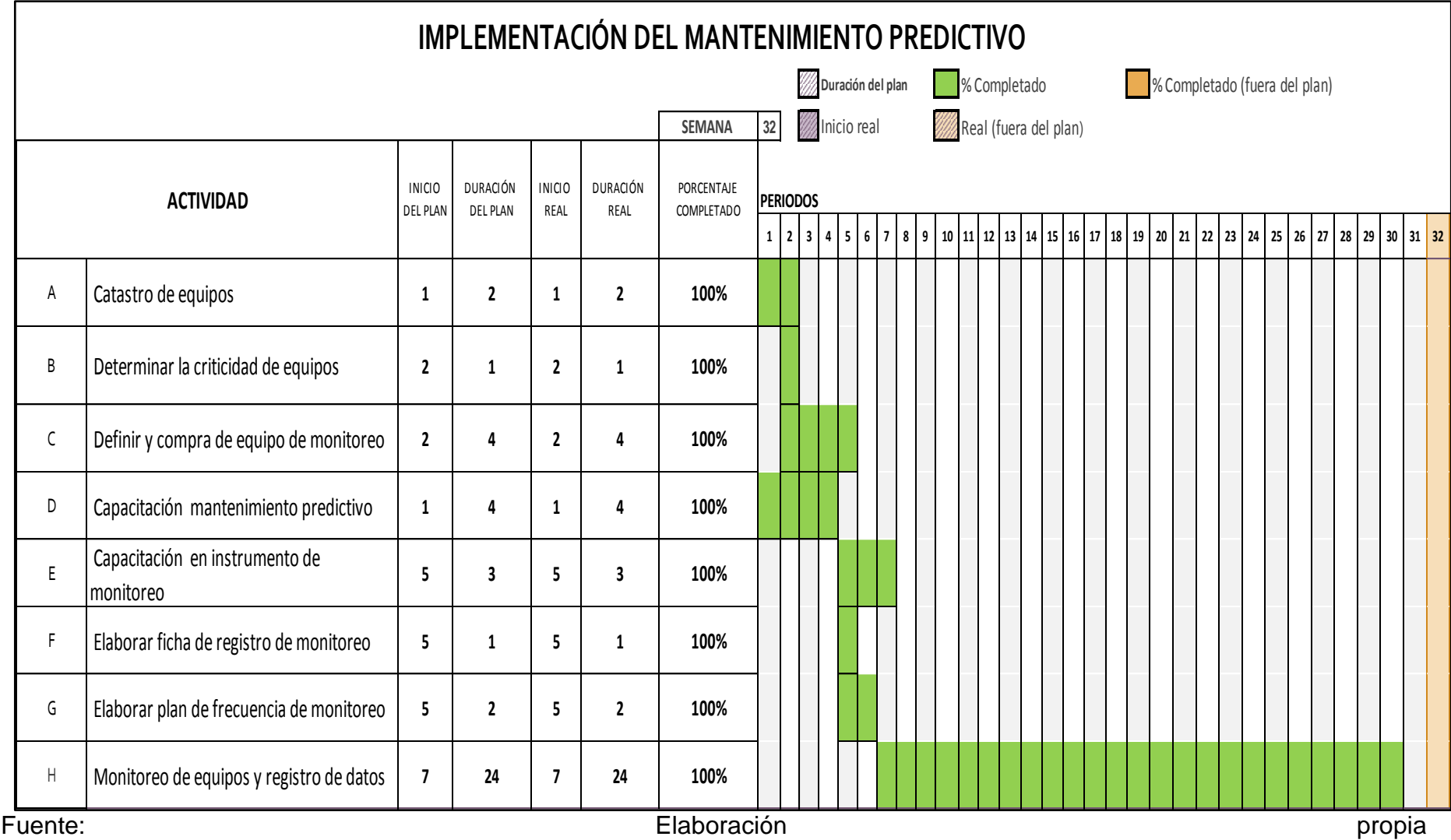
Fuente: manual Viber-A

ANEXO 13. Tabla de vibraciones ISO 10816-3



Fuente: manual Viber-A

ANEXO 14. Diagrama de Gantt







UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## FORMATO DE SOLICITUD

SOLICITA: IMPRESIÓN DE TESIS

ESCUELA DE ING. INDUSTRIAL / EMPRESARIAL

..... con DNI N° .....

Domiciliado (a) en Mz. 32 Lt. 27 LOS PORTALES DEL AEROPUERTO - CALLAO  
(Calle / lote / Mz. / Urb. / Distrito / Provincia / Región)

Ante Ud. con el debido respeto expongo lo siguiente:

Que en mi condición de alumno de la promoción: Grupo 36 del programa: SUBE  
(Periodo)

..... identificado con el código de matrícula N° 9122817201  
(Código del alumno)

de la Escuela de Pre- grado, recurro a su honorable despacho para solicitarle lo siguiente:

PARA REALIZAR LOS TRÁMITES DE TITULACIÓN Y  
HABER CUMPLIDO CON TODOS LOS REQUISITOS  
SOLICITO:  
AUTORIZAR LA IMPRESIÓN DE MI TESIS.

Por lo expuesto, agradeceré ordenar a quien corresponde se me atienda mi petición por ser de justicia.

Lima, 04 de Junio de 2018.

(Firma del solicitante)

Documentos que adjunto:

- a. Acta de Originalidad de Tesis  
b. Recibo de Turnitin  
c. ....

cualquier consulta por favor comunicarse al:

Teléfono: 944263070  
Email: j.j.gabriel1803@hotmail.com

CIP 25085



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI)  
"César Acuña Peralta"

## FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LAS TESIS

### 1. DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: (solo los datos del que autoriza)

PASACHE MORALES JOSE GABRIEL  
D.N.I. : 02841113  
Domicilio : M.2 J.2 LOTE 27 LOS PORTALES DEL AEROPUERTO - CALLAO  
Teléfono : Fijo : Móvil : 944.26.3070  
E-mail : j.gabriel1803@hotmail.com

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS

Modalidad:

☒ Tesis de Pregrado

Facultad : INGENIERÍA  
Escuela : INGENIERÍA INDUSTRIAL  
Carrera : INGENIERÍA INDUSTRIAL  
Título :

☐ Tesis de Post Grado

☐ Maestría

☐ Doctorado

Grado :  
Mención :

### 3. DATOS DE LA TESIS

Autor (es) Apellidos y Nombres:

PASACHE MORALES JOSE GABRIEL

Título de la tesis:

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES  
PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL AREA  
DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA METALMECANICA - LIMA 2017.

Año de publicación :

### 4. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN VERSIÓN ELECTRÓNICA:

A través del presente documento, autorizo a la Biblioteca UCV-Lima Norte, a publicar en texto completo mi tesis.

Firma : 

Fecha : 04-06-2018

feedback studio

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANALISIS DE VIBRACIONES PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL AREA DE GALVANIZADO DE UNA EMPRESA METALMECANICA, LIMA

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANALISIS DE VIBRACIONES PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL AREA DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA METALMECANICA, LIMA 2017.

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:  
PANACHE MORALES JONÉ GABRIEL

ASESOR:  
Mg. LINO ROLANDO RODRIGUEZ ALEGRE

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
GESTIÓN EMPRESARIAL Y PRODUCTIVA

LIMA - PERÚ  
2017

Página 1 de 114    Número de palabras: 17382

Resumen de coincidencias

14%

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Concordancias

1	displays	1%
2	Enviado a Universi...	1%
3	www.humanas.unal.edu...	1%
4	displays.unl.edu.pe	1%
5	repositorio.acemico...	1%
6	repositorio.unl.edu.pe	1%
7	www.cite.edu.pe	1%
8	www.basesdatabas.com	1%
9	www.sloshare.net	<1%
10	repositorio.unl.edu.pe	<1%
11	documentalide.com	<1%

Text only Report

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, GUIDO RENE SUCA APAZA, Responsable de Investigación de la EP de Ingeniería Industrial de la Universidad Cesar Vallejo, Lima Norte, verifico que la Tesis Titulada: "PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA. – LIMA, 2017", del estudiante PASACHE MORALES JOSE GABRIEL; tiene un índice de similitud de 14 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Los Olivos, 18 abril del 2018

  
 .....  
**Mg. Guido Rene Suca Apaza**  
 Responsable de Investigación de la EP de  
 Ingeniería Industrial

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

N.º

5000

1255-2018

## CONSTANCIA DE EGRESADO

QUIEN SUSCRIBE, JEFE(A) DE REGISTROS ACADÉMICOS DE LA  
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO - LIMA, HACE CONSTAR QUE:

**PASACHE MORALES, JOSE GABRIEL**

Identificado(a) con código n.º **6500091028**, es egresado(a) en el semestre académico **2017-II** de la Escuela Profesional de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, adscrita a la Facultad de **Ingeniería**, y ha culminado estudios el 17 de Diciembre del 2017 con la aprobación de **214** créditos.

Se extiende la presente para los fines que se estimen convenientes.

Lima, 9 de febrero de 2018



**Lic. Geovana Vanessa Arias Espinoza**  
**Jefe(a) de Registros Académicos**  
**Filial Lima - Campus Los Olivos**

c.c archivo  
GAE/RTN

[www.ucv.edu.pe](http://www.ucv.edu.pe)





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

N.º

5000

1177-2018

## CONSTANCIA DE MATRÍCULA

QUIEN SUSCRIBE, JEFE(A) DE REGISTROS ACADÉMICOS DE LA  
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO – LIMA, HACE CONSTAR QUE:


**PASACHE MORALES, JOSE GABRIEL**

Identificado(a) con código n.º **6500091028**, estudiante de la Escuela Profesional de  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**, adscrito a la Facultad de **Ingeniería**, registró  
matrícula el **02 de septiembre de 2012** en el **I ciclo** del semestre académico **2012-II**.

Se extiende la presente para los fines que estime conveniente.

Lima, 09 de febrero de 2018



  
**Lic. Geovana Vanessa Arias Espinoza**  
Jefe(a) de Registros Académicos  
Filial Lima - Campus Los Olivos